KELLY
BINDER
15.
GOWER PLACE

120

J. KELLY.
BINDER 15 GOWER PLACE

1861

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

PREMIÈRE ANNÉE

1862

PARIS. — IMPRIMERIE SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1861

ANNUAIRE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR

P. P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PROFESSEUR DE CHIMIE AU COLLÉGE MUNICIPAL CHAPTAL
PRÉPARATEUR AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

1861

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

MENU DE SAINT-MESMIN, préfet général des études au collége Chaptal;
J. E. HORN; E. LAMÉ; W. DE FONVIELLE;
E. SAINT-EDME, préparateur de physique au Conservatoire des Arts et Métiers.

PREMIÈRE ANNÉE

1862

PARIS

CHARPENTIER, LIBRAIRE-ÉDITEUR

28, QUAI DE L'ÉCOLE, 28

Tous droits réservés.

AVERTISSEMENT

Il n'est plus besoin aujourd'hui, quand on veut parler de sciences, de demander pardon au lecteur. Les merveilleuses applications auxquelles ont donné naissance les grandes découvertes scientifiques modernes ont tellement modifié la vie de chacun, elles se sont tellement introduites dans notre existence journalière, qu'elles ont forcément attiré l'attention et imposé leur étude.

On ne s'est plus contenté de jouir de la vitesse d'une locomotive, de l'admirable rapidité du télégraphe, on a voulu passer de l'usage des choses à leur connaissance; on est arrivé ainsi jusqu'aux limites de ce pays inconnu de la science, qu'on admirait d'après ses dons sans oser y pénétrer.

L'approche en a été jugée pendant longtemps inaccessible à la masse du public; on s'est effrayé de quelques mots nouveaux, de quelques nomenclatures sèches et arides, et on s'est rebuté, abandonnant l'entreprise jugée trop pénible; grâce cependant aux progrès de la science elle-même, qui, à mesure qu'elle s'éclairait, devenait plus abordable, et se montrait sous une forme séduisante, au lieu de conserver la mine sévère, l'aspect rébarbatif qu'elle avait d'abord affecté, on s'est armé de courage, les premiers pas ont été faits, la mode s'en est mêlée : aussi chaque jour les savants rencontrent-ils parmi les gens du monde des auditeurs plus assidus et plus curieux.

Chaque jour, aussi, les esprits sont mieux préparés à goûter les écrits scientifiques; l'instruction classique ne se borne plus aujourd'hui à l'étude des langues anciennes, les sciences y prennent une place de plus en plus importante. Si incomplètes qu'aient été ces premières notions, si effacées qu'elles soient après quelques années, ces études laissent après elles des connaissances suffisantes pour qu'il soit possible d'y ajouter une idée nouvelle; bien que la mémoire ait laissé échapper presque tous les détails, l'esprit a reçu une empreinte assez profonde pour qu'il soit encore capable d'apprécier un perfectionnement, d'applaudir à un progrès.

Quelques personnes, trop indulgentes sans doute, qui ont lu les écrits que nous avons publiés dans la *Revue nationale*, sous le nom de *Revue des sciences*, ont pensé qu'ils pouvaient former les premières bases d'un résumé des progrès des sciences pendant l'année qui vient de s'écouler. A ces articles d'un intérêt général, et dans lesquels on n'a jamais abordé que de très-grandes questions capables d'intéresser la masse du public, on a ajouté un certain nombre de notices sur des sujets plus spéciaux, que, malgré leur importance, il n'était pas possible d'aborder dans un recueil politique.

Les sujets que nous avions à traiter étaient tellement divers, ils exigeaient pour être présentés d'une façon convenable des connaissances si variées, que nous avons d'abord reconnu notre insuffisance, et que nous avons eu recours à l'aide bienveillante de quelques-uns de nos collègues du Conservatoire des Arts et Métiers, du collége Chaptal et de la *Revue nationale*.

Malgré ce puissant secours, nous avons dû laisser de côté des questions importantes. Il devait forcément en être ainsi d'après la résolution que nous avions prise de traiter un sujet avec assez de détails pour qu'il devînt intéressant.

L'énoncé pur et simple d'une découverte peut sans doute

attirer l'attention; mais combien l'intérêt est plus excité quand on voit d'abord les savants tâtonner longtemps aux débuts de leurs recherches, puis avancer plus vite et plus sûrement, à mesure qu'ils ont mieux dégagé leur route et qu'ils aperçoivent plus nettement le but qu'il faut atteindre; combien surtout le succès prend plus de valeur quand on sent les peines qu'il a coûté, quand on se rappelle tous les obstacles qu'il a fallu surmonter, toutes les difficultés qu'on a dû vaincre!

Ce que l'homme aime davantage, c'est sa propre histoire. Si un roman nous attire, nous retient, parce que nous y trouvons le récit de nos passions, que nous y reconnaissons les battements de notre cœur; une découverte scientifique, un progrès industriel, peuvent nous attirer et nous retenir, si nous y voyons les efforts de notre esprit luttant corps à corps avec l'inconnu, et finissant, à force de sagacité, de finesse, de patience, par saisir le coin du voile qu'il s'agit d'enlever pour arriver à cette suprême joie : contempler une vérité nouvelle.

C'est ce qu'il eût été impossible de tenter en traitant un très-grand nombre de sujets; notre cadre nous restreignait à un certain nombre de pages, que nous avons cru mieux remplir par des notices un peu longues, un peu détaillées, en nous résignant à laisser de côté bien des faits intéressants.

Ajoutons cependant que ce n'est pas en une année qu'une grande découverte atteint tout son développement : elle est longtemps hésitante, avant de prendre son vol. Nous retrouverons donc plus tard, dans les autres volumes de l'*Annuaire scientifique*, plusieurs des travaux que nous avons dû, à regret, passer sous silence dans celui-ci.

Pour faciliter les recherches du lecteur, nous avons cru devoir diviser notre ouvrage en quatre parties : *Sciences pures*, *Sciences appliquées*, *Histoire des sciences* et *Économie sociale*.

Ainsi nous donnerons dans ce recueil une large part aux applications de la science. Arriver jusqu'à l'utilité immédiate est, pour beaucoup de recherches, le couronnement suprême, vers lequel elles doivent tendre sans relâche; c'est ainsi qu'on trouvera dans ce volume un article consacré aux nouveaux moteurs à gaz et à la machine de M. Lenoir, un autre au forage du puits de Passy; nous nous y sommes occupé également des discussions sur la nature de l'acier, des nouvelles charrues à vapeur employées en Angleterre, et des procédés de panification de M. Mége-Mouriès.

Nous ne reculerons pas cependant devant les questions purement scientifiques; en dehors de toute idée d'application, l'étude de la nature est une des plus belles missions qu'ait l'homme ici-bas; elle agrandit l'esprit, élève les caractères, en les détachant de ce lourd fardeau d'intérêt matériel que notre humanité traîne péniblement avec elle.

Il y a dans la contemplation d'une nouvelle vérité acquise, dans la connaissance plus parfaite d'un de ces mille rouages qui forment nos machines vivantes, un plaisir aussi élevé que dans l'admiration d'un tableau de maître, dans l'audition d'une œuvre de la grande école allemande.

On voudra donc bien nous suivre, nous l'espérons, même dans des sujets purement théoriques, car nous sommes certain qu'il existe encore en France des hommes capables de se passionner pour une idée, et de préférer une classification philosophique à un bleu ou à un violet sur soie.

Pierre-Paul Dehérain.

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

I

ANALYSE CHIMIQUE DE L'ATMOSPHÈRE DU SOLEIL.

DEUX NOUVEAUX MÉTAUX TERRESTRES. — MM. KIRSCHHOFF ET BUNSEN.

Analyser l'atmosphère du soleil, déterminer quels sont ceux des éléments de notre globe qui se rencontrent dans cet astre, quels sont ceux qui y font défaut, n'est-ce pas là une folle entreprise? Quelle espérance peut-il y avoir d'atteindre jamais cette matière placée à une distance énorme, pour la soumettre à une étude sérieuse? L'analyse chimique, recherche essentiellement patiente et délicate, s'exerce-t-elle donc autrement que sur une matière qu'on peut à son gré pulvériser, dissoudre et précipiter ou au moins enfermer dans des vaisseaux, de façon à isoler successivement sous une forme caractéristique chacun des éléments constituants de la matière à analyser?

Les chimistes ne peuvent évidemment suivre leur méthode habituelle, quand il s'agit des astres; mais un autre procédé analytique applicable à tous les objets lumineux, resté jusqu'à présent dans l'enfance, vient de prendre tout à coup, entre les mains de MM. Kirschhoff et Bunsen, une merveilleuse précision, en même temps que son emploi s'est énormément généralisé.

Ce n'est pas timidement, en nouveau venu, que ce mode d'analyse, fondé sur l'étude de la lumière, a fait son entrée dans le monde scientifique ; il débute, au contraire, brillamment par la découverte de deux nouveaux corps simples, et par les premières notions certaines de *chimie stellaire* que nous possédions.

Tout le monde connaît les beaux effets lumineux qu'on obtient avec les feux dits du Bengale, dont les teintes rouges, vertes et blanches donnent aux monuments, aux feuillages, des aspects si curieux et si inattendus.

C'est en mélangeant à la poudre, aux matières combustibles qu'on fait brûler, certains sels métalliques, qu'on obtient ces vives couleurs ; à chaque métal correspond une teinte spéciale, de telle sorte qu'un feu rouge écrit lisiblement, pour un chimiste qui en peut apercevoir la lumière, le mot strontiane, un feu vert le mot baryte, etc., et qu'il lui est ainsi possible de faire, à distance, une analyse approximative des matières employées dans la confection des feux colorés.

Une étude attentive de la lumière du soleil pourra donc peut-être, on le comprend maintenant, nous révéler exactement quels sont les éléments qui entrent dans la constitution chimique de cet astre, comme la lumière rouge d'un feu du Bengale nous indique, encore qu'il soit éloigné de nous, que la strontiane a été employée dans sa fabrication.

I

Que la lumière blanche du soleil puisse se décomposer en mille teintes variées, c'est ce qu'il semblerait qu'on eût dû savoir de tout temps, puisque de tout temps on a observé cette décomposition quand les rayons du soleil, frappant des gouttes d'eau, donnent l'arc-en-ciel, ou bien quand la lumière tombe sur des surfaces minces, bulles de savon ou bulles de verre, ou quand encore elle se réfracte ou se disperse en passant au travers du cristal ou des pierres précieuses. Il n'en a pas été ainsi cependant, et, bien que les anciens aient eu tous ces faits sous les yeux, bien qu'ils aient même observé la décomposition de la lumière à travers un prisme

de verre comme nous le faisons aujourd'hui, leur attention non éveillée a simplement relaté le phénomène sans chercher à en pénétrer la cause.

On trouve dans les *Questions naturelles* de Sénèque la description d'une expérience presque semblable à celle que fit Newton, quinze cents ans plus tard. L'auteur latin, comme le physicien anglais, faisait tomber un rayon lumineux sur un prisme de verre, et trouvait, dans la lumière brisée qui émergeait du prisme, les mêmes teintes que dans l'arc-en-ciel [1].

C'est en variant cette expérience de mille façons, en s'y acharnant, que Newton arriva à se convaincre que la lumière blanche était composée de toutes les teintes qui nous apparaissent dans l'arc-en-ciel.

« Dans une chambre fort obscure, dit le grand savant anglais, ayant fait, dans le volet d'une des fenêtres, un trou rond d'environ un tiers de pouce de largeur, j'appliquai à ce trou un prisme de verre par lequel les rayons du soleil, qui donnaient dans ce trou, pussent être pliés en l'air par réfraction, et y tracer une image colorée du soleil... Regardant alors le trou du soleil au travers du prisme ainsi situé, j'observai que la longueur de son image formée par les rayons rompus contenait plusieurs fois sa largeur, et que la partie de cette image qui était formée par les rayons les plus rompus était violette ; que la partie formée par les rayons les moins rompus paraissait rouge, et que les parties d'entre deux paraissaient bleues, vertes et jaunes, selon l'ordre dans lequel je viens de les nommer [2]. »

C'est au long ruban diversement coloré, obtenu par le passage des rayons lumineux à travers un prisme de verre, qu'on donne le nom de spectre solaire.

Jusqu'au commencement de ce siècle, on ne tira d'autre conclusion des expériences de Newton relativement à la nature de la lumière du soleil que la certitude qu'elle était composée d'une foule de teintes différentes qui, superposées, pouvaient reproduire de la lumière blanche semblable à la lumière primitive.

[1] Virgula solet fieri, vitrea stricta vel pluribus angulis in modum clavæ torosa... hæc si ex transverso solem accepit, colorem talem qualis in arce videri solet, reddit. (Lib. I, cap. VII.)

[2] L'Optique de Newton, écrite en 1675, a été publiée en 1704.

— Nous avons tous passé plusieurs jours au collége à peindre un carton divisé par des rayons en plusieurs segments renfermant chacun une des sept couleurs du spectre, pour voir ces couleurs disparaître, et ne plus laisser qu'une teinte d'un blanc grisâtre quand ce carton, percé au centre, était animé d'un vif mouvement de rotation autour d'un clou passé dans ce centre. — La persistance des impressions laissées sur la rétine par chacune des couleurs produisait sur celle-ci la recomposition presque complète de la lumière, et nous donnait cette teinte grise au lieu de la sensation successive des couleurs dont le carton était enluminé.

En 1816 ou 1817, un constructeur d'instruments de physique de Munich, Fraunhofer [1], occupé de recherches sur la faculté réfractive et dispersive de différentes espèces de verre, remarqua que les lumières artificielles produites par la combustion du suif, de l'huile, etc., présentaient, entre la couleur rouge et la jaune, une strie ou bande claire à limites tranchées, qui constamment et dans toutes les lumières occupait la même place.

Lorsqu'il voulut examiner le spectre coloré de la lumière solaire, pour voir s'il présentait une bande claire pareille à celle que donnait le spectre de la lumière d'une lampe, il trouva à sa place un nombre surprenant de lignes verticales fortes et faibles, toutes plus obscures que le reste du spectre, et dont plusieurs paraissaient presque tout à fait noires. De quelque matière réfringente que fût composé le prisme, toujours ces lignes se montraient, dans les diverses couleurs, de la même manière et dans les mêmes rapports entre elles.

Au lieu de se présenter sous forme d'un long ruban uni mais coloré de vives teintes rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet, tel que nous le voyons habituellement en le regardant à l'œil nu, le spectre paraît donc, quand on le voit au travers d'une bonne lunette, rayé de hachures extrêmement nombreuses et très-diversement distribuées parmi les couleurs, quoique toutes parallèles entre elles.

Fraunhofer varia considérablement ses expériences, toujours les lignes apparaissaient; et il finit par se convaincre qu'elles étaient

[1] *Bibliothèque universelle de Genève*, Ire série, t. VII, 1817.

bien dues à la lumière du soleil, qu'elles représentaient bien une propriété du fluide lumineux de cet astre.

En examinant la lumière de la planète Vénus, il y rencontra encore ces mêmes raies noires, mais beaucoup plus faiblement. Toutefois, les rapports des stries et des lignes se trouvant exactement dans le même ordre, il fallut bien en conclure que la lumière de Vénus est de même nature que celle du soleil; c'est ce que tout le monde sait, au reste, puisque la planète Vénus, comme la terre, n'est pas lumineuse par elle-même, mais reflète simplement la lumière qu'elle reçoit du soleil.

En examinant au contraire une étoile fixe, en choisissant Sirius, la plus brillante, et en faisant passer sa lumière au travers du prisme de verre, Fraunhofer ne retrouva plus les lignes noires qu'il avait observées dans le soleil et dans Vénus, mais bien des lignes, des stries tout à fait différentes. La lumière de Sirius n'est donc pas de la même nature que celle du soleil; il en est de même de celle des autres étoiles fixes de première grandeur : toutes présentèrent des lignes, mais disposées pour chacun de ces astres dans un ordre complétement différent.

Ces faits étaient bien dignes, à coup sûr, de fixer l'attention des physiciens : aussi plusieurs d'entre eux, en variant les conditions du phénomène, arrivèrent-ils à des conclusions remarquables. Sir David Brewster, un des associés étrangers de l'Académie des sciences, fit quelques années plus tard cette observation très-importante : que si on interpose sur le passage des rayons lumineux provenant d'une flamme un vase renfermant un gaz coloré avant de les faire tomber sur le prisme, on voit apparaître dans le spectre des raies noires comme on en voit dans le spectre solaire. Sir David Brewster émit alors le premier l'idée que les raies noires du spectre solaire étaient peut-être dues au passage de cette lumière au travers de l'atmosphère du soleil, jouant le même rôle que le gaz coloré au travers duquel nous pouvons diriger les rayons lumineux.

Au lieu d'un spectre brillant haché de lignes noires, comme celui que donnent les rayons du soleil, on peut obtenir des lignes brillantes se détachant sur le fond plus sombre, si on interpose dans une flamme artificielle peu vive, comme celle du gaz ou de l'alcool, certains sels métalliques.

Le phénomène deviendra parfaitement sensible en opérant de la

façon suivante : devant un prisme de verre, on place un bec de gaz, qu'on tourne jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une flamme bleuâtre très-peu éclairante, dont l'éclat est tellement faible, qu'il y a obscurité complète derrière le prisme ; on introduit ensuite dans cette flamme un sel métallique, du sel marin, par exemple ; la flamme brille alors d'une teinte jaune, qui apparaît derrière le prisme sous forme d'une belle ligne jaune à laquelle se réduit le spectre de la lumière *sodée*. Si on avait mis dans la flamme un sel de strontiane ou un sel de lithium, on aurait eu dans les deux cas des lignes rouges, mais placées en des points différents; un sel de calcium aurait donné une ligne bleue.

Ces derniers faits ont été surtout étudiés par Masson, professeur de l'Université, mort récemment. Tout curieux qu'ils étaient, ils restaient sans lien avec les raies du spectre solaire, lorsque M. Kirschhoff, professeur à Heidelberg, auquel s'associa bientôt son collègue M. Bunsen, en reprit l'étude, s'efforça de réunir tous ces éléments épars, et d'arriver enfin à une explication satisfaisante des raies du spectre solaire.

Ces élégantes et délicates recherches ne pouvaient être entreprises dans un lieu qui leur convînt davantage.

C'est une si jolie ville qu'Heidelberg ! Un vrai nid de savants où l'on voudrait vivre si l'on n'avait goûté de ce fruit amer dont on ne sait plus se passer, la vie parisienne. Bâtie sur le flanc d'une colline, se mirant dans le Neckar, dominée par son château admirable, quoique à moitié ruiné, cette petite ville est toute brillante de fleurs et de jeunesse.

Les professeurs sont les rois de ce monde d'étudiants qui habite Heidelberg. A des rois il faut des palais; on ne saurait guère appeler autrement le beau monument dans lequel est établi le laboratoire de chimie, le seul que nous ayons visité. Quand nous y allâmes, il y a trois ans, M. Bunsen y travaillait au milieu de ses élèves. Les chimistes allemands s'entourent presque toujours ainsi d'une nombreuse jeunesse dont les mains intelligentes sont prêtes à apporter à chaque instant la sanction de l'expérience aux hypothèses que le maître veut vérifier.

Nous avons à Paris de nombreux laboratoires ; mais aucun n'est installé avec une libéralité semblable à celle qui a présidé à la construction du monument qu'habite M. Bunsen à Heidelberg. Aucun n'est susceptible d'être ainsi une véritable école de chimie où

les élèves profitent de l'expérience du maître, comme le maître utilise le travail des élèves; pas un n'est disposé pour que trente jeunes gens, comme à Heidelberg, cinquante et plus, comme à Göttingue, puissent s'exercer en même temps aux manipulations.

C'est donc à Heidelberg que M. Kirschhoff a trouvé enfin la cause à laquelle sont dues les raies du spectre solaire.

Son expérience fondamentale est très-simple et facile à comprendre; nous avons vu que, si on examine au travers d'un prisme la flamme de l'alcool *salé*, flamme peu brillante, on ne verra plus de spectre aux riches couleurs, mais que toute la lumière transmise de l'autre côté du prisme se réduira à une belle ligne jaune; cette ligne jaune, nous l'avons dit, est caractéristique pour le sodium qui existe dans l'alcool salé; toutes les flammes renfermant ce métal la présentent.

Cette raie jaune du sodium à laquelle se réduit le spectre de l'alcool salé correspond exactement à l'une des raies noires du spectre solaire; c'est ce qu'il est possible de démontrer en faisant arriver l'un au-dessus de l'autre sur le même prisme deux rayons lumineux, l'un venant du soleil et l'autre de l'alcool salé; on aura alors deux spectres dont les images se placeront exactement au-dessus l'une de l'autre; la coïncidence de la raie jaune brillante du sodium et d'une des raies noires observée par Fraunhofer devient ainsi parfaitement manifeste.

Cette coïncidence est-elle fortuite? non, certainement; et, si on remplaçait dans l'alcool enflammé le sel marin par des combinaisons appartenant à quelques autres des métaux qui, en brûlant, présentent des raies caractéristiques, on rencontrerait très-souvent encore, au-dessus de la raie brillante d'un de ces métaux, des lignes obscures dans le spectre solaire.

Pourquoi cette coïncidence? Pourquoi ce renversement? Pourquoi la raie, brillante dans un des spectres, est-elle obscure dans l'autre?

C'est ce que va nous expliquer l'expérience suivante, due à M. Kirschhoff : qu'on projette sur de la chaux un jet de gaz de l'éclairage mélangé d'oxygène, on verra cette chaux devenir incandescente et jeter une lumière tellement brillante, que les yeux ont peine à en supporter l'éclat; nous choisissons cette lumière, connue parmi les chimistes sous le nom de lumière de Drummond, parce

que, passant au travers d'un prisme, elle nous donnera un magnifique spectre parfaitement brillant et complétement dépourvu de raies noires ; entre cette lumière de Drummond et le prisme qui doit recevoir les rayons qui en émanent, plaçons la flamme de l'alcool salé, flamme peu brillante, comme nous savons, et au travers de laquelle les puissants rayons projetés par la chaux incandescente vont parfaitement passer ; regardons le prisme : une magnifique raie noire s'y dessine et précisément à la place qu'occuperait la raie jaune du sodium. En effet, laissons tout notre appareil en place et marquons sur un écran fixe la raie noire actuelle ; elle est marquée ; supprimons pour un instant la lumière de Drummond, la flamme de l'alcool salé peut seule nous apparaître maintenant ; son spectre se réduit à la ligne jaune dont nous avons parlé, qui vient se fixer sur notre écran identiquement à la place où s'était trouvée la ligne noire.

Ainsi la flamme de l'alcool salé est *opaque* pour la lumière qu'elle-même émettrait ; elle ne laisse pas traverser les rayons lumineux qui devraient venir se projeter précisément à l'endroit où se trouveraient réunis ceux qu'elle émet elle-même.

Ce fait étant admis, et l'expérience nous le démontre, quelles sont les conclusions que nous en pouvons tirer au point de vue de la composition chimique du soleil?

Si nous supposons que le soleil soit formé par un noyau incandescent porté à une température énorme, ainsi qu'il paraît être, en effet, les éléments volatils qui font partie de cet astre doivent former autour de lui une lourde et dense atmosphère au travers de laquelle les rayons lumineux doivent se frayer un chemin pour venir jusqu'à nous. S'il nous était possible de voir la lumière de l'atmosphère solaire indépendamment de la lumière plus vive du noyau interne, nous pourrions rencontrer dans cette lumière analysée, au moyen du prisme, les lignes jaunes, bleues, rouges, caractéristiques des métaux qui existent dans cette atmosphère, exactement de la même façon que nous avons vu l'alcool salé nous donner une ligne jaune, l'alcool chargé de barium une ligne verte, etc. Mais nous ne pouvons jamais voir l'atmosphère solaire indépendamment du noyau, dont la puissance lumineuse est infiniment plus forte, et nous retrouvons dans le noyau brillant du soleil et son atmosphère moins lumineuse exactement les mêmes relations qu'entre la lumière de Drummond et l'alcool salé. — Nous avons, pour ainsi

dire, un spectre négatif, et chacune des raies noires correspond aux lignes brillantes et colorées caractéristiques des métaux que nous pourrions voir dans l'atmosphère du soleil, s'il nous était possible de la séparer du noyau brillant.

Comparant avec le plus grand soin les lignes brillantes données par chacun des métaux introduit dans la flamme de l'alcool aux lignes noires que Fraunhofer avait dessinées dans le spectre solaire, M. Kirschhoff peut arriver à reconnaître parfaitement dans l'atmosphère du soleil les métaux qui y existent ; c'est ainsi que, le groupe caractéristique des soixante-dix lignes que donne le fer se rencontrant dans le spectre, on peut être assuré que ce métal existe dans le soleil. On est certain également qu'il y existe du magnésium, du chrome, du potassium et du sodium.

L'absence dans le spectre solaire des lignes qui caractérisent le zinc, l'argent, l'antimoine, le cuivre, l'aluminium, le cobalt, etc., prouvent que ces métaux sont très-rares dans le soleil ou même n'existent pas du tout dans son atmosphère.

L'absence de l'aluminium est faite pour surprendre, on se serait volontiers figuré que cet élément, si commun sur notre globe, puisqu'il existe dans presque toutes nos roches cristallisées et dans les argiles, se retrouvait très-répandu dans le monde ; on voit qu'il n'en est pas ainsi.

La coïncidence entre les lignes données par les métaux et celles qu'on trouve dans le spectre est tellement parfaite, que la conclusion que M. Kirschhoff a tirés de ses recherches, si hardie qu'elle soit, ne permet pas le moindre doute.

« Je n'oublierai jamais, » dit M. Roscoe, un savant anglais, auquel on doit une excellente *lecture* sur ce sujet, faite à l'Institution royale de la Grande-Bretagne, « je n'oublierai jamais l'impression que je reçus, quand j'allai visiter, l'automne dernier, mes amis d'Heidelberg, en voyant l'admirable spectacle de la coïncidence des lignes brillantes du fer avec les raies noires de la lumière du soleil.

« Dans la partie supérieure du champ de la lunette étaient les soixante-dix lignes brillantes du fer de couleurs variées et de tous les degrés d'intensité et de largeur, tandis que dans la moitié inférieure du champ le spectre solaire montrait les lignes noires qui coupent sa lumière. *Exactement* au-dessous de chacune des soixante-dix lignes brillantes de fer était une ligne noire du soleil.

Ces lignes coïncidaient si merveilleusement et avec un tel degré de précision, la largeur et l'intensité de chacune des lignes colorées se retrouvait si bien dans les lignes noires, que la vérité de cette assertion que du fer existait dans l'atmosphère du soleil me fut parfaitement démontrée. »

Telle est la première partie de l'admirable découverte de M. Kirschhoff. Peut-on rien rêver de plus élégant que cette méthode de recherche si simple, si convaincante, et qui conduit à des résultats si prodigieusement extraordinaires? Qu'il suffise de regarder dans une lunette pour affirmer avec certitude quelle est la composition chimique de l'atmosphère du soleil, quelle est celle des autres astres assez rapprochés de nous pour qu'il soit possible de soumettre leur lumière aux mêmes recherches, c'est ce qu'on n'aurait jamais pu croire avant que cela fût réalisé.

On a fait bien des hypothèses sur l'origine de notre planète, mais ces hypothèses ne pouvaient acquérir aucun degré d'incertitude tant qu'on n'avait pas de bases certaines pour les appuyer. — Aujourd'hui que la nature des astres, que leur composition n'est plus complétement inconnue, on pourra sans doute établir des rapprochements, faire des comparaisons qui éclaireront singulièrement cette question si controversée.

Les recherches de M. Kirschhoff ont donc fait faire à l'étude de l'univers un des progrès les plus remarquables dont il ait été question depuis longtemps.

Et si, l'étonnement passé, l'éblouissement que donnent ces brillants résultats apaisé, on se rappelle la marche qu'a suivie cette étude, combien on est frappé de l'importance de l'étude de la nature pour elle-même, et indépendamment de toute idée d'application! Qui aurait vu le modeste constructeur de Munich, Fraunhofer, dessiner patiemment, mesurer scrupuleusement les raies du spectre solaire, aurait bien pu sourire et l'engager à fabriquer ses lunettes sans passer son temps à ces billevesées; et cependant toute la découverte de M. Kirschhoff prend sa source dans l'observation de Fraunhofer. Cherchons donc toujours, comme on l'a très-bien dit, le royaume de la science pure, le reste nous sera donné par surcroît.

II

Nous avons déjà insisté sur ce fait, que chaque métal donne dans le spectre solaire des bandes lumineuses particulières, qui peuvent parfaitement servir à le faire reconnaître; ce sera donc dorénavant un procédé d'analyse que d'introduire dans une flamme une substance métallique de nature inconnue, puis de chercher dans les raies du spectre celles qui appartiennent à tel ou tel métal; de leur présence ou de leur défaut on pourra conclure à l'existence ou à l'absence de tel ou tel métal dans la substance étudiée..

Cette nouvelle méthode d'analyse chimique, basée sur l'examen du spectre, a été entreprise par MM. Kirschhoff et Bunsen; car il était nécessaire qu'à un physicien fût associé un chimiste, association féconde et qui ne pouvait guère manquer de l'être, car le talent n'est pas moindre d'un côté que de l'autre. —M. Bunsen, en effet, a déjà rendu de grands services à la science et à l'industrie; en étudiant avec le plus grand courage et la plus grande sagacité la matière mal connue que nous avaient laissée les chimistes du siècle précédent sous le nom de liqueur de Cadet, M. Bunsen a montré le premier exemple de l'union des carbures d'hydrogène avec les substances minérales, et le cacodyle est devenu le point de départ de recherches très-importantes, poursuivies avec le plus grand succès en Allemagne et en France par MM. Frankland, Cahours, etc.

La pile électrique, employée actuellement dans toutes les usines de dorure et d'argenture, dans les télégraphes, est due à M. Bunsen; et son application de tous les jours, la supériorité qu'elle conserve sur toutes les autres piles proposées depuis, montre assez combien est excellente la disposition qu'a donnée à cet instrument le savant professeur d'Heidelberg.

On a de la peine à se figurer la sensibilité de la nouvelle méthode employée dans les analyses chimiques par MM. Bunsen et Kirschhoff; on en jugera par les exemples suivants.

« Je prends, dit M. Bunsen, un mélange des chlorures des métaux alcalins et alcalino-terreux, sodium, potassium, lithium, baryum, strontium et calcium contenant au plus $\frac{1}{100,000}$ de milligramme de chacune de ces substances; je place ce mélange dans

la flamme et j'observe le résultat. D'abord la ligne jaune intense du sodium apparaît sur le noir d'un spectre continu très-pâle; quand elle commence à être moins sensible et que le sel marin s'est volatilisé, les pâles lignes du potassium apparaissent; elles sont suivies de la ligne rouge du lithium, qui disparaît bientôt, tandis que les lignes vertes du baryum apparaissent dans toute leur intensité.

« Les sels de sodium, de potassium, de lithium, de baryum, sont maintenant volatilisés entièrement; après quelques instants, les lignes du calcium et du strontium se montrent comme si un voile se dissipait et atteignent peu à peu leur forme et leur brillant caractéristique. »

M. Bunsen affirme pouvoir reconnaître, dans quelque mélange qu'il soit placé, $\frac{1}{3.000.000}$ de milligramme de sodium. Cette délicatesse inouïe de recherche a permis de montrer la présence du sodium à peu près partout; il en existe dans l'air et la poussière en renferme des traces parfaitement appréciables. Si on frappe les pages d'un livre près de la flamme en expérience, on peut parfaitement reconnaître dans la poussière qui voltige autour du livre et qui arrive dans la flamme la présence du sodium qui vient immédiatement manifester sa ligne jaune caractéristique.

J'ai été assez heureux pour assister, cet été, à ces curieuses expériences qui avaient été parfaitement installées à l'École normale, dans le laboratoire de M. H. Deville, dont nous analysons plus loin les beaux travaux, par M. Louis Grandeau qui revenait d'Heidelberg, où il avait suivi les expériences de MM. Kirschhoff et Bunsen.

Quand on voulait, comme point de comparaison, dans les expériences de l'École normale, voir la ligne jaune caractéristique du sodium, on n'avait qu'à brosser un peu la manche de son habit au-dessus de la flamme; la poussière qui en sortait était assez riche en sodium pour que la flamme accusât immédiatement la présence du métal. On m'avait raconté le fait, et je n'y croyais guère; mais il a fallu se rendre à l'évidence et admettre la sensibilité inouïe de ce mode d'investigation.

On peut reconnaître $\frac{1}{100,000}$ de milligramme de lithium; depuis qu'on a employé le procédé de l'*analyse spectrale*, on a trouvé ce métal beaucoup plus répandu qu'on ne le supposait jusqu'à présent. On ne l'avait encore rencontré que dans quelques roches;

il se trouve cependant dans un très-grand nombre d'entre elles, mais en assez faible proportion pour que l'analyse chimique ordinaire n'ait pas su le caractériser. On l'a trouvé dans les eaux salées comme dans les eaux douces, dans les cendres de beaucoup de plantes et notamment dans celles du tabac; on l'a trouvé encore dans le lait, dans le sang humain, dans le tissu musculaire.

MM. Bunsen et Kirschhoff savent encore reconnaître $\frac{5}{100,000}$ de milligramme de strontiane et $\frac{1}{100,000}$ de milligramme de calcium.

On comprend qu'armé d'une méthode semblable on puisse arriver à caractériser des substances qui ont échappé jusqu'à présent à l'attention des chimistes. — Ceux-ci comptent jusqu'à présent soixante-deux corps simples, mais il est certain qu'il en existe d'autres peu abondants, qu'ils n'ont pas su distinguer faute d'une méthode suffisamment délicate, et c'est ce que les savants d'Heidelberg viennent de démontrer d'une façon péremptoire en annonçant l'existence de deux nouveaux métaux.

En étudiant l'eau minérale de Durckheim par leur procédé, MM. Bunsen et Kirschhoff découvrirent, au milieu des raies brillantes caractérisant les métaux connus, des raies d'un bleu pâle qu'ils n'avaient pas encore observées; ces raies sont, en effet, très-visibles, et, en prenant à l'extrémité d'un fil de platine une goutte de l'eau minérale de Durckheim, en mettant le fil dans la flamme de l'alcool ou du gaz, on peut les voir très-nettement, et nous avons été assez heureux pour les discerner parfaitement à l'École normale dans l'appareil que M. L. Grandeau avait si bien disposé.

Ces lignes d'un bleu pâle devaient appartenir à un nouveau métal qu'il s'agissait d'isoler. M. Bunsen se met à l'œuvre : il ne fallut pas évaporer moins de 44,000 litres d'eau de Durckheim pour obtenir 25 à 30 grammes de chlorure de *cæsium* : c'est le nom du nouveau métal, qui, d'après les recherches de M. Bunsen, doit être placé parmi les métaux alcalins; il possède comme eux la propriété remarquable de prendre feu aussitôt qu'on le jette dans l'eau.

Bien qu'il n'ait eu à sa disposition qu'une très-faible quantité de cæsium, M. Bunsen a pu étudier les principales propriétés de ce métal, et il donnera très-prochainement sur ce sujet, dans les *Annales de chimie et de physique*, tous les détails nécessaires pour faire connaître complétement le nouveau venu.

La découverte du cæsium ne tarda pas à être suivie de celle d'un autre métal caractérisé dans le spectre par deux raies rouges qui lui valurent le nom de *rubidium;* ce métal doit aussi être placé à côté du potassium et du sodium dans la classe des métaux alcalins. Le rubidium se trouve dans la lépidolithe de Roxena.

Ainsi deux nouveaux métaux, un premier aperçu sur la constitution chimique de l'atmosphère du soleil, telle est la riche moisson que viennent de faire de l'autre côté du Rhin MM. Kirschhoff et Bunsen.

On peut à coup sûr regretter que cette belle découverte ne soit pas française; mais elle l'est devenue par l'enthousiasme qu'elle a excité chez nous. Répétée dans les laboratoires, signalée dans les cours publics et les colléges, portée à la connaissance du public dans les journaux et les revues, elle est maintenant connue de tous. Récemment encore, le gouvernement de Sa Majesté l'Empereur a voulu prendre sa part de ces louanges universelles en donnant, à la grande satisfaction du monde savant, à M. Bunsen, déjà chevalier, la croix d'officier; à M. Kirschhoff la décoration de la Légion d'honneur.

Si brillants que soient les résultats, si importants que soient les faits acquis par les chimistes d'Heidelberg, ils sont moins intéressants cependant que la méthode employée pour les mettre en lumière.

Observer un fait nouveau, constater une propriété encore non aperçue, c'est rendre plus complète la connaissance du monde extérieur, c'est augmenter la somme des richesses de l'humanité. — Tôt ou tard, à ce fait d'abord isolé, s'en rattachent d'autres semblables. Ils se groupent, se complètent... un nouveau pas est fait. Rien ne serait donc plus antiphilosophique que de mépriser les découvertes qui ont simplement pour effet d'ajouter un fait nouveau à ceux qu'on connaît déjà.

Au-dessus de cet ordre de découvertes se trouvent cependant celles qui sont éminemment fécondes, soit parce qu'elles donnent au savant un nouvel agent pour percer à travers l'inconnu, soit parce qu'elles indiquent un nouveau chemin qui conduit à des régions encore inexplorées.

On aurait bien mal apprécié la découverte que fit sir H. Davy du potassium et du sodium, si on n'avait voulu y voir que de simples faits venant s'ajouter aux connaissances déjà acquises; cette découverte était d'un ordre supérieur, car le potassium

et le sodium sont des armes nouvelles qui, employées habilement, triomphent des matières difficiles à décomposer, et permettent d'en isoler de nouvelles substances utiles ou curieuses. Le bore, le silicium, l'aluminium, le magnésium, etc., ont été obtenus à l'aide des métaux de sir H. Davy; l'éclat de ces découvertes remonte jusqu'à l'œuvre primitive et démontre son importance par sa fécondité.

Une nouvelle méthode, un nouveau procédé d'investigation est plus précieux encore pour les savants qu'un nouvel agent, si puissant qu'il soit. Quand Lavoisier apprit aux chimistes à peser toutes les matières qu'ils emploient dans une expérience, quand, appliquant sa méthode, il montra que, si on décompose l'eau, on doit retrouver en oxygène et en hydrogène exactement le poids d'eau qu'on a employé, il fit plus qu'une découverte ordinaire, il donna une méthode, et la science tout entière passa de l'à-peu-près, du vague où elle était restée jusqu'alors, à la certitude, à la précision qui la caractérisent aujourd'hui.

Si importants donc que soient les faits découverts par MM. Kirschhoff et Bunsen, la méthode qu'ils ont employée l'est encore davantage. — Elle a brillamment débuté, et son rôle n'est pas terminé; elle est si fine, si précise, si délicate, qu'elle permettra de pousser infiniment plus loin qu'on ne l'a fait jusqu'à présent l'analyse qualitative, la détermination des éléments qui existent dans l'univers; car nous ne saurions trop insister sur ce point, notre puissance n'est plus limitée, comme elle l'était hier encore; nous ne sommes plus arrêtés sur notre petite sphère, et nous pouvons étendre nos recherches à travers l'infini. Du moment qu'une étoile, si éloignée qu'elle soit, nous envoie sa lumière, il nous est possible de savoir quels sont les éléments analogues aux nôtres qui se rencontrent dans cet astre et d'avoir une première idée sur sa constitution.

La méthode dont les savants d'Heidelberg viennent de doter leurs confrères sera donc certainement d'un puissant secours pour mener à bonne fin le problème que la science s'est posé : la connaissance de l'univers.

Elle a aussi ce grand charme, cet irrésistible attrait de la nouveauté; peut-être pensera-t-on qu'il pousse à lui donner une puissance plus grande qu'elle ne possède en réalité; il en est ainsi de tous les nouveaux-nés : le temps seul dira si cet enfant dont on

chante la naissance sera fort et puissant ou malingre et chétif; mais si, comme Hercule, il étouffe des serpents dans son berceau, il n'a qu'à vivre pour prendre au soleil une place non disputée.

En venant au monde, l'*analyse spectrale* a trouvé deux nouveaux métaux; elle est donc déjà forte et vivace, et, quand avec le temps elle aura pris tout le développement dont elle est susceptible, il est probable qu'elle ne mentira pas à ses débuts.

P.-P. Dehérain.

II

LA COMÈTE DE 1861

Dans les derniers jours du mois de juin de l'année qui vient de s'écouler, nous avons été surpris par la brusque apparition d'une magnifique comète, dont la tête brillait près de la *grande Ourse* et dont la queue se perdait au milieu de la lueur blanchâtre que projette la Voie lactée.

Au lieu d'une vive curiosité, la visite inattendue de cet astre eût excité, il y a quelques siècles, une profonde terreur. Le peuple ne se fût pas contenté, comme en 1861, de tourner en ridicule les astronomes qui n'ont pas su le prévenir de l'approche d'un membre aussi important de notre système solaire. Le vulgaire aurait tremblé d'effroi en contemplant la forme bizarre d'un corps céleste que la superstition aurait considéré comme le fidèle avant-coureur des plus épouvantables calamités.

Il n'est certainement pas raisonnable de s'étonner que nos savants soient hors d'état de faire les honneurs de nos régions inférieures à tous les astres errants qui quittent momentanément les confins de notre système planétaire pour se réchauffer, pendant de trop courts instants, à notre splendide foyer solaire. Toutes les nuits, nous pouvons avoir à contempler de bizarres apparitions de globes, soit dénués d'appendices lumineux, soit précédés par une

chevelure analogue à la traînée brillante que les comètes laissent ordinairement après elles; les unes entraînent dans leur course rapide un faisceau de rayons, étalés en éventail; d'autres sont suivies par des appendices taillés en cimeterre, et ressemblent à l'astre qui plongea les nations chrétiennes dans la plus profonde terreur, lorsque Mahomet II arbora le croissant sur les minarets de Sainte-Sophie. En effet, ainsi que l'a dit si poétiquement Kepler, et comme on l'a tant de fois répété après lui : « Les comètes sont plus nombreuses au ciel que les poissons dans l'Océan. »

Ce n'est pas la première fois que des astronomes improvisés ont l'honneur d'apercevoir les premiers des comètes qui ont échappé aux observateurs de profession. Le directeur de l'*Observatoire impérial* peut se consoler de s'être laissé devancer par des profanes en songeant, à la déconvenue de Tycho, le plus soigneux et le plus assidu de tous les philosophes qui aient jamais usé leurs veilles à contempler les mouvements harmonieux des globes d'or qui roulent au travers des cieux. En effet, d'après ce que nous rapportent les chroniques du temps, ce grand homme descendait de son observatoire, lorsqu'il rencontra un groupe de paysans regardant avec curiosité un point du ciel où, quelques instants auparavant, il n'avait reconnu aucun objet extraordinaire. En se rendant au marché de la ville, ces rustres avaient découvert le plus énorme globe de feu qui ait peut-être jamais illuminé les sombres horizons du Nord!

Toutefois, il faut remarquer que l'apparition de la comète de 1861 n'aurait pas été un événement imprévu pour les peuples européens, si le système de télégraphie électrique eût été moins imparfait; si le grand câble transatlantique, dont les débris gisent inutiles au fond de l'Océan, eût réuni les deux hémisphères; si une ligne télégraphique, courant le long des côtes orientales de l'Amérique, eût rattaché le Brésil au réseau si remarquablement développé de l'*Union américaine*.

M. Liais, astronome français, actuellement encore à Rio-de-Janeiro, a aperçu, en effet, ce bel astre avant qu'il fît son apparition dans notre ciel. Les observations minutieuses, dont il a été l'objet depuis le moment où il est entré dans l'hémisphère visible pour nos astronomes, auraient été précédées par d'autres travaux également précieux, également intéressants. Averties à temps par leurs collègues du Sud, nos vigies scientifiques du Nord n'eussent

pas perdu un seul instant pour se préparer dignement à recevoir le visiteur inattendu qui devait être l'objet de tant de discussions.

Quand on songe à la multitude de questions que soulèvent la nature et la constatation des comètes, on ne peut s'empêcher de regretter que l'état d'imperfection de nos communications télégraphiques ait empêché la science des cieux de réunir des documents qui pouvaient être décisifs! Notre génération serait-elle donc privée de voir luire enfin le jour glorieux où un phénomène quelconque ne pourra se produire nulle part, soit à la surface de la terre, soit dans les profondeurs des espaces éthérés, sans que tous les hommes en soient instantanément avertis! Que de choses nous laissons échapper! que de merveilles nous sont dérobées, et cependant la *vie est si courte pendant que l'art est si long!*

Lorsque le monde savant se trouvait encore sous le coup de la première émotion, un astronome, homme d'esprit, crut pouvoir annoncer qu'on avait affaire à une nouvelle apparition de la comète de Charles-Quint, dont il attend encore inutilement le retour avec une constance digne d'un meilleur sort; mais les observateurs ne tardèrent pas à reconnaître que le célèbre académicien avait été trop pressé de présenter des conclusions positives. On vit, par l'exemple de cette mésaventure, combien le grand Arago était sage lorsqu'il insistait, dans son *Astronomie populaire* et dans ses cours publics, sur la difficulté de proclamer l'identité de deux astres. En effet, les apparitions d'un même noyau cométaire peuvent offrir les différences les plus profondes, à cause des énormes perturbations que doit facilement exercer l'attraction des masses planétaires dans le voisinage desquelles il peut passer. Cependant l'orbite nouvelle ressemblait si peu à toutes celles qui ont été déjà calculées, qu'on reconnut bientôt que l'astre de 1861 n'offrait aucune espèce d'analogie avec ceux que les cométographes ont enregistrés dans leurs recueils.

A peine avait-on officiellement constaté qu'on devait souhaiter la bienvenue à un nouveau sujet de l'astronomie calculatrice, qu'on se trouva naturellement en présence d'une nouvelle difficulté. La comète de 1861 viendra-t-elle, dans la suite des siècles, se montrer aux regards des générations futures, ou disparaîtra-t-elle définitivement dans les profondeurs des espaces où le soleil ne brille plus que comme une étoile ordinaire.

Les dimensions de la courbe que décrit la comète de 1861 sont

tellement prodigieuses, qu'il est très-difficile de se prononcer avec certitude sur sa nature géométrique. Peut-être est-ce une ellipse dont le sommet extrême se trouve bien au delà des sphères lointaines dans lesquelles se meut la planète Neptune; peut-être obéit-elle aux lois du mouvement hyperbolique, décrivant une branche indéfiniment prolongée; alors elle s'élancerait au delà des plus lointaines nébuleuses contemplées par Herschell, à moins qu'un soleil plus puissant que le nôtre ne modifie sa route et ne l'entraîne dans son cortége. Peut-être avons-nous contemplé la splendeur d'un astre *déclassé*, qui, promenant éternellement sa gloire de monde en monde, oscillant de Sirius à la grande Ourse, ira se perdre dans les étoiles de la Croix du Sud pour revenir près des constellations zodiacales.

Sans nous compromettre inutilement à donner notre avis sur des questions aussi ardues, nous nous bornerons à rappeler la surprenante variété des apparences que le noyau a successivement présentées.

Cette masse de matière excessivement ténue n'a pas dû être soumise aux chaleurs prodigieuses qu'ont éprouvées certaines comètes, et notamment celle de 1689, laquelle, suivant Newton, a supporté une température supérieure à deux mille fois celle du fer rouge. En effet, elle s'est tenue à la distance passablement respectueuse de quatre-vingts millions de kilomètres du foyer de notre système planétaire. Quoique l'illumination ait été naturellement moins vive cette fois qu'elle n'a dû l'être alors, le spectacle était un des plus beaux que les annales de l'astronomie aient jamais eu à enregistrer. Personne n'a certainement oublié le magique effet produit par cette queue presque droite, précisément située à l'opposé du soleil et s'enfonçant résolûment dans les ténèbres des cieux éloignés. On eût dit un magique pont de lumière joignant la terre aux régions supérieures, et pareils à celui qu'ont chanté les poëtes arabes.

Quoique le directeur de l'Observatoire impérial n'ait pas admis que ce torrent rougeâtre soit parvenu jusqu'aux régions supérieures de notre atmosphère, les calculs de M. Hind semblent démontrer que notre globe a été imprégné des émanations sortant de la chevelure de l'astre qui a illuminé nos nuits pendant près d'un mois.

Un grand nombre d'observateurs, tant à Londres qu'à Paris, ont

vu très-distinctement une lueur un peu fuligineuse, analogue à celle que projetterait un phare de Fresnel sur les parties éloignées de l'Océan, empourprer les régions supérieures de l'atmosphère.

Comme le dit fort justement Arago, « l'introduction dans l'atmosphère terrestre de quelque élément gazeux pourrait, suivant qu'il serait plus ou moins abondant, occasionner la mort de tous les animaux ou engendrer de simples épidémies; telle a été, en effet, suivant divers auteurs, l'origine, la véritable source de la plupart de ces fléaux dont l'histoire nous a conservé le souvenir. » L'ancien directeur de l'Observatoire de Paris ne se contente pas, comme l'a fait expéditivement M. Babinet, de rassurer le public, en déclarant qu'une matière, quelque ténue qu'on la suppose, *un rien visible*, si l'on veut, suivant la spirituelle expression du rédacteur de la *Revue des Deux Mondes*, ne saurait pénétrer dans l'océan aérien. Arago n'avait pas inventé le raisonnement *subtil* pour démontrer que la matière cométaire, trop ténue pour pouvoir pénétrer dans le gaz excessivement dilaté qui compose les régions supérieures de l'atmosphère, devait rebondir comme du liége projeté à la surface du mercure.

Après avoir écarté successivement les opinions de Grégory, de Forster[1], de Lubieni, et décrit les circonstances qui accompagnèrent la production de brouillards secs et froids des hivers de 1783 et 1784, Arago s'exprime ainsi :

« L'intérêt que les brouillards extraordinaires de 1783 et 1784 ont excité n'est pas le seul motif qui m'ait déterminé à entrer dans tant de minutieux détails. Le passage de la terre dans une queue de comète est un événement qui doit arriver plusieurs fois dans un siècle. Si cela, par exemple, n'a pas eu lieu en 1819 et en 1823, c'est à raison d'une trop petite longueur dans les queues des comètes de ces deux années, car l'une et l'autre se trouvèrent pendant quelques heures dirigées vers nous. Il importait donc de prouver qu'il n'y a de ce côté aucun danger réel pour notre globe; que même, par suite de leur excessive rareté, nous traversons ces immenses traînées sans nous en apercevoir. Or tout cela a le caractère d'une vérité démontrée, si l'on accorde qu'une queue de comète ne peut pas servir à expliquer les circonstances diverses

[1] Auteur de l'ouvrage *Illustration of the atmospherical origin of epidemical diseases.*

qui ont accompagné les apparitions des brouillards secs de 1783 et de 1831[1]. »

Suivant toute probabilité, cette fois, l'*expérience* de l'immersion de la planète dans la queue d'une comète aura donc réellement eu lieu sur une vaste échelle; cependant, chose bien digne de remarque, aucun phénomène, si ce n'est une illumination spéciale des couches supérieures de l'air, n'aurait accompagné cette circonstance; non-seulement on n'aurait ressenti aucune secousse venant modifier les allures de notre planète, mais on n'aurait eu à déplorer aucune des épidémies dont tant de rêveurs avaient menacé l'humanité lors d'une pareille rencontre.

La statistique de Londres a constaté que la mortalité n'avait pas éprouvé la moindre augmentation pendant la semaine critique où les effluves lumineuses auraient pu empoisonner l'air que respirent nos poumons. Personne, à Paris, même à l'Observatoire, ne s'est aperçu que nous nagions en plein océan cométaire. Les prévisions de la vraie science ont reçu une confirmation si complète, qu'à peine y a-t-on fait attention!

La tête de la comète n'a pas offert des apparences moins dignes d'être discutées avec soin que toutes les autres parties du phénomène. M. Chacornac et plusieurs autres astronomes ont comparé l'aspect de ce corps lumineux aux rayons curvilignes qui jaillissent d'une pièce d'artifice connue sous le nom de soleil, laquelle prend, comme on le sait, un mouvement très-rapide de rotation. Un astronome anglais, dont les dessins ont été publiés dans l'*Illustrated London News*, a cru constater distinctement la présence de plusieurs enveloppes paraboliques concentriques, séparées les unes des autres par des bandes obscures. La couche intérieure était douée d'un éclat relativement assez vif. On eût dit une énorme sphère gazeuse, formée de bandes, dont le pouvoir réfringent est d'autant plus considérable qu'elles sont plus voisines du centre.

[1] Il importe de remarquer que l'inocuité complète de ces passages à travers les queues peut très-bien être invoquée en faveur de la réalité d'une hypothèse que nous allons développer plus bas. En effet, certains astronomes admettent que les appendices cométaires, n'ayant aucune réalité objective, sont purement et simplement des *apparences;* s'il en était ainsi, il ne faudrait pas s'étonner que des éléments matériels qui n'existent que dans l'imagination des astronomes ne puissent empoisonner l'air que nous respirons.

En résumé, ce noyau cométaire offrait l'aspect d'une nébuleuse possédant des dimensions énormes, au centre de laquelle se trouvait un noyau lumineux dont le diamètre pouvait bien être de cinq à six cents kilomètres, et qui jetait autour de lui des rayons doués d'une certaine énergie. Toutefois, plusieurs photographes d'Angleterre prétendent avoir échoué dans leurs tentatives pour obtenir l'image de cet objet céleste, comme si le pouvoir chimique de sa lumière était incomparablement plus faible que son intensité optique. Quant à cette dernière, elle était incontestablement fort considérable. En effet, des observateurs britanniques prétendent que la comète de 1861 envoyait une lumière assez nourrie pour projeter une ombre sensible sur un morceau de papier blanc, quand on intercalait, dans une position convenable, un objet à formes nettes comme un cône ou le style d'un gnomon.

Chaque fois qu'une comète, remarquable par ses dimensions ou par son éclat, se montre dans les cieux, le monde scientifique est agité par la discussion de questions ardues, toujours abandonnées et toujours reprises. M. Faye a saisi avec raison cette occasion pour développer de nouveau ses idées sur l'existence d'une force répulsive résidant dans le soleil, et repoussant la matière formant les nébulosités cométaires, de manière à leur donner la forme qu'elles prennent ordinairement.

Suivant les idées de ce savant astronome, le soleil se comporterait comme un creuset de platine chauffé à blanc, repoussant les gouttes d'eau qu'on projetterait sur lui et donnant naissance à un phénomène de caléfaction. Un mathématicien habile, M. Roche, ayant soumis à une analyse très-exacte ces hypothèses ingénieuses, a reconnu que la matière refoulée à l'opposé du soleil devait nécessairement prendre une forme analogue à celle que nous avons essayé d'indiquer.

Toutefois nous devons avouer qu'il nous semble encore plus naturel de revenir à quelques idées bien simples, oubliées depuis longtemps et émises à l'époque de la Renaissance par le philosophe et mathématicien Cardan. Ce savant illustre, à qui la science doit tant de découvertes ingénieuses, suppose que les membres vagabonds de notre système planétaire sont d'immenses masses diaphanes et réfringentes qui décrivent dans l'espace des ellipses fort allongées dont le soleil occupe un des foyers. Énergiquement éclairées par les rayons du soleil dans la partie de leur course où elles

s'en approchent suffisamment, ces sphères diaphanes peuvent devenir visibles pour les habitants de la terre, sous certaines conditions faciles à déterminer.

En admettant les idées cosmogoniques de Laplace, il est bien difficile de comprendre que la sphère gazeuse dont sont sortis successivement tous les astres, se soit demembrée en anneaux elliptiques, sans laisser échapper dans toutes les directions des éclats qui ont pris la forme d'ellipsoïdes allongés et gardé probablement l'état gazeux. En effet, la matière qui compose les astres parcourant des orbites excessivement allongées devant naturellement supporter des alternatives de froid rigoureux et de chaleur excessive, n'a pu prendre la forme concrète et stable d'une planète ordinaire échappant à ces températures extrêmes, et jouissant pendant toute la durée de son année de conditions à peu près identiques.

Même dans le cas où l'on croirait que les comètes ont une autre origine, il serait rationnel de chercher (toujours en supposant l'exactitude de la théorie de Laplace) ce que sont devenus ces fragments qui ont dû être projetés dans les espaces célestes, et que l'attraction du soleil a dû enchaîner dans des orbes fermés dont il occupe un des foyers.

Une comète peut donc être considérée comme une immense lentille gazeuse, se promenant dans les espaces planétaires et donnant naissance à une prodigieuse traînée lumineuse comme un phare conique éclairant par réfraction les espaces infinis où se meuvent les planètes, les astéroïdes, les aérolithes, en un mot, tous les corps qui naviguent dans les océans célestes.

La théorie séduisante que nous venons d'esquisser fut adoptée par Tycho; Galilée lui donna son entière approbation; Kepler lui-même l'embrassa avec un enthousiasme digne de son poétique génie auquel aucune idée grandiose n'échappait. Cependant ce grand homme abandonna cette conception, qui cadrait si bien avec les idées sublimes qu'il avait conçues sur le système du monde, lorsqu'il eut reconnu qu'il lui était impossible de rendre compte de la courbure qu'affectent si fréquemment les nébulosités cométaires. Il fut réduit à supposer que les rayons de lumière émis par le soleil entraînent une partie de la matière même de la comète, et précipitent dans l'infini des cieux les débris matériels ainsi arrachés à ces mondes déjà si peu denses. Lorsque la théorie de l'émis-

sion de la lumière eut disparu, des astronomes ingénieux modifièrent cette conception dorénavant insoutenable, et supposèrent que la matière cométaire, soumise à cette espèce d'évaporation, lançait derrière elle un panache comme la fumée qui sort des cheminées de nos steamers et de nos locomotives.

Évidemment à une époque où l'on ignorait que la lumière met un temps appréciable à venir du soleil jusqu'à nous, il était impossible d'expliquer la courbure des nébulosités cométaires, sans supposer que cet effet étrange est produit par la résistance opposée par le milieu éthéré, retardant le mouvement d'une substance très-subtile perdue en route par les astres errants.

Mais la découverte de ce fait important de physique céleste nous permet d'aller chercher moins loin une explication, qui nous paraît aussi probable que toutes celles qu'on a proposées sur cette difficile question. Ne peut-on pas considérer la courbure des queues comme due à une simple illusion d'optique provenant de la composition de la vitesse de propagation de la lumière et de la translation du cône éclairé, que les gigantesques lentilles gazeuses qui constituent les comètes projettent derrière elles?

En effet, au moment où les queues atteignent ces dimensions prodigieuses dont l'étendue confond la raison, et où elles prennent cette forme si singulièrement recourbée, la tête de l'astre se trouve très-rapprochée du soleil. Elle se meut avec une énorme vitesse, supérieure à celle de la terre dans son orbite. Le cône réfracté tourne donc avec une épouvantable rapidité, comparable à la propagation des ondes lumineuses qui parcourent, comme on le sait, soixante-dix mille lieues par seconde. La rétine se trompe nécessairement sur la position des points radieux qu'elle rapporte à la direction de la composante de ces deux mouvements simultanés, et la masse lumineuse conique semble s'infléchir comme si elle était courbée par un vent, par un frottement, par un effort mécanique quelconque.

Cependant nous ne pouvons nous dispenser de faire remarquer que tous les savants n'ont pas abandonné la théorie de Cardan. Quoique l'on n'eût aucune notion de la nature et de la constitution des gaz; quoique Bradley n'eût pas découvert la théorie de l'aberration des étoiles; quoique les lois de la réfraction terrestre fussent à peine ébauchées; que les phares de Fresnel ne fussent pas inventés; que la théorie des caustiques par réfraction fût

encore dans l'enfance, le spirituel et savant *Fontenelle* s'exprime ainsi dans un passage de la *Pluralité des mondes :* « Les queues et les barbes des comètes ne sont que *de pures apparences.* Ces planètes, étrangères à notre système, ne diffèrent en rien des nôtres; mais, en entrant dans notre tourbillon, elles prennent la queue ou la barbe par une sorte d'illumination qu'elles reçoivent du soleil, et qui, entre nous, n'a pas encore été bien expliquée; mais toujours on est sûr qu'il ne s'agit que d'une sorte d'illumination; *quant au reste, on le devinera quand on pourra !* »

W. DE FONVIELLE.

PHYSIQUE

I

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

I

Jupiter électricien. — Franklin sur les rives du Schuylkell. — Un Écossais anonyme. — Le télégraphe de Lesage. — Comus et Diderot. — La prise de Condé. — Le télégraphe à étincelles. — Travaux de Sœmmering. — Expérience d'Œrsted. — Le Lilliputien d'Ampère. — Appareil du baron de Schilling. — Souvenir classique.

Qui sait si l'on ne dira pas un jour que le télégraphe électrique est d'origine chinoise? Les alliés sont à peine sortis de Pékin... Il suffirait, pour soutenir cette thèse, que l'on trouvât, dans quelque coin du Céleste Empire, un cadran aux caractères indéchiffrables ou un cordon de sonnette posé d'une manière plus ou moins grotesque. Peut-être cependant serait-il plus juste d'attribuer l'honneur de l'invention au dieu Jupiter: la première dépêche électrique ne fut-elle pas envoyée aux Titans par le maître de la foudre?

Quoi qu'il en soit, certains auteurs continuent à prêter à la télégraphie électrique un passé plus modeste. Ce ne serait, d'après ces savants que l'on dit bien informés, ni sur les bords du Pé-tchy-li, ni au sommet d'une montagne de la Thessalie qu'aurait été établi le premier poste électrique; pour en retrouver la trace, il ne faudrait pas remonter plus loin que l'an 1749. *Franklin* se trouverait ainsi l'émule de Jupiter; il aurait choisi, pour théâtre de ses

expériences, les rives du Schuylkell, et, pour spectateurs, des milliers de curieux accourus de Philadelphie. Armé d'une bouteille de Leyde, il aurait, au moyen d'un fil tendu sur le fleuve, mis le feu à de l'esprit-de-vin placé sur les deux rives.

Ce qu'il y a de certain, c'est que la première mention du télégraphe électrique date de février 1753. Dans une lettre écrite de Renfrew, bourg d'une province de l'Écosse méridionale, on trouve la description d'une machine assez bien imaginée. Pourquoi l'auteur eut-il si peur de se compromettre et de passer, en signant sa lettre, pour un cerveau malade? — Le *Scot's Magazine* nous a conservé ce document. Du reste, il paraît que les contemporains de l'inventeur n'eurent pas, dans sa machine, plus de confiance qu'il n'en avait lui-même, car il ne se trouva pas de constructeur qui consentît à la réaliser.

Georges-Louis Lesage, professeur de mathématiques à Genève, plus hardi que l'Écossais anonyme, signa son nom, en toutes lettres, au bas d'un projet qu'il conçut en 1760. — Noé avait mis cent ans à construire son arche, Lesage mit quatorze ans à préparer son télégraphe. En 1774, il exposa un petit appareil très-remarquable par sa simplicité. Cet appareil consistait en vingt-cinq fils de fer aboutissant chacun à une balle de sureau ; les lettres de l'alphabet étaient écrites aux deux extrémités des fils. Dès que ceux-ci étaient mis en communication avec une source d'électricité, la balle de sureau était repoussée et dénonçait ainsi la lettre correspondante. — Ce système était certainement très-ingénieux; mais on est forcé de convenir qu'il était loin de valoir, dans la pratique, les signaux de feu dont parle Eschyle dans sa tragédie d'*Agamemnon*. Allumés sur le mont Ida et répétés de montagne en montagne, n'annoncèrent-ils pas la prise de Troie à Clytemnestre, qui résidait à Argos?

Il est probable que c'est d'une machine analogue à celle de Lesage que se servait, en 1762, un certain Ledru, savant et magicien, que Diderot nous représente sous le nom de Comus, dans une lettre écrite, le 28 juillet de la même année, à mademoiselle Voland.

« Voici encore, lui dit-il, tout plein de bâtons rompus... Si vous ne vous rappelez pas vos propres lettres, celle-ci sera pire qu'un chapitre de l'Apocalypse.

« Voilà donc une de mes lettres perdues ; et qui sait ce qu'il y a dans cette lettre, en quelles mains elle est tombée et l'usage qu'on en fera ? — *Comus* ne perfectionnera-t-il pas son secret ?... Ce Comus est un charlatan du rempart qui tourne l'esprit à tous nos physiciens. Son secret consiste à établir de la correspondance, d'une chambre à une autre, entre deux personnes, sans le secours sensible d'aucun agent intermédiaire. Si cet homme-là étendait un jour la correspondance d'une ville à une autre, d'un endroit à quelques centaines de lieues de cet endroit, la jolie chose ! Il ne s'agirait plus que d'avoir chacun sa boîte : ces boîtes seraient comme deux petites imprimeries où tout ce qui s'imprimerait dans l'une, subitement s'imprimerait dans l'autre.

« Trêve de plaisanteries ; si Morphyse, si Damilaville ou M. Gillet... vous m'entendez, après tout... Tant pis pour les deux premiers; ils n'auraient eu que ce que l'on gagne à écouter aux portes. »

Ce fragment, que nous empruntons aux Mémoires, correspondances et ouvrages inédits de Diderot, et que M. Gavarret cite en partie dans l'excellent traité qu'il vient de publier [1], est un monument curieux de l'état de la science et des esprits dans la seconde moitié du dix-huitième siècle.

Malgré les sourires de Diderot, l'arène une fois ouverte, chacun voulut y descendre : la France et l'Espagne entrèrent en lice ; Lomond et Bétancourt furent leurs champions... Malheureusement la vaillance de ces intrépides lutteurs resta infructueuse, car ils n'avaient encore à leur service que l'électricité statique produite par la machine à plateau de verre.

Toutefois, il n'est pas sans intérêt de voir comment, quelques années seulement après la lettre écrite à mademoiselle Volant, un contemporain de Lomond s'exprimait sur les récentes découvertes que le jeune inventeur venait de faire. — Les tablettes d'Arthur Young [2] contiennent, à la date du 16 octobre 1787, le passage suivant :

« Rendez-vous chez M. Lavoisier. Madame Lavoisier, personne

[1] *Télégraphie électrique*, par M. J. Gavarret, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris. Victor Masson, 1861.

[2] *Voyages en France pendant les années* 1787, 1788 *et* 1789, par Arthur Young. — Nouvelle traduction par M. Jules Lesage. Guillaumin, 1860.

pleine d'animation, de sens et de savoir, nous avait préparé un déjeuner anglais au thé et au café; mais la meilleure partie de son repas, c'était sa conversation. — Le soir, visite à *M. Lomond*, jeune mécanicien très-ingénieux et très-fécond, qui a apporté une modification au métier à filer le coton. Il a fait aussi une découverte remarquable sur l'électricité. On écrit deux ou trois mots sur un morceau de papier, il l'emporte dans une chambre et tourne une machine renfermée dans une caisse cylindrique, sur laquelle est un électromètre, petite balle de moelle de sureau; un fil de métal la relie à une caisse également munie d'un électromètre, placé dans une pièce éloignée. Sa femme, en notant les mouvements de la balle du sureau, écrit les mots qu'ils indiquent. D'où l'on peut conclure qu'il a formé un alphabet au moyen de mouvements. Comme la longueur du fil n'a pas d'influence sur le phénomène, on peut correspondre ainsi à quelque distance que ce soit; par exemple, du dedans au dehors d'une ville assiégée, ou, pour un motif bien plus digne et mille fois plus innocent, l'entretien de deux amants, privés d'en avoir d'autres [1]. »

Cependant la révolution française venait d'éclater : la Vendée était en feu, Toulon aux Anglais; Lyon venait de lever l'étendard de la révolte; de toutes parts nos frontières étaient ouvertes. Il importait que la Convention nationale disposât de moyens rapides pour envoyer ses ordres aux armées de la République. Aussi, lorsque Claude Chappe présenta son système aérien de télégraphie, l'Assemblée y vit une arme de guerre et décida qu'une ligne serait établie entre Paris et Lille. A peine achevée, cette ligne apportait à la Convention, le 15 fructidor an II, la nouvelle de la prise de Condé sur les Autrichiens, et la Convention répondait, séance tenante : « L'armée du Nord a bien mérité de la patrie. »

Tandis que l'abbé Chappe, infidèle à l'électricité, installait en France son télégraphe aérien, un Allemand, nommé *Reiser*, plaidait la cause de l'agent délaissé et conseillait de revenir à l'emploi de la machine électrique. — En 1794, il donnait à un constructeur l'idée d'un appareil destiné, disait-il, à prouver que l'avenir de la télégraphie était tout entier dans l'emploi de l'électricité. Cet

[1] Nous devons la connaissance de ce fragment à l'obligeante communication de M. Monjean, directeur du collége Chaptal.

appareil consistait en une table de verre dans laquelle étaient incrustées vingt-cinq lettres en métal. En regard de chacune de ces lettres devait se trouver l'extrémité d'un fil de fer; dès que l'autre extrémité eût été en rapport avec une machine électrique, une étincelle eût éclairé la lettre correspondante. — Le télégraphe à étincelles imaginé par Reiser ne fut exécuté qu'en 1798 par *François Salva*, médecin espagnol, qui le mit au service de l'infant don Antonio.

Nous voici en 1800 ; Volta vient de répondre à Galvani en inventant la pile ; de toutes parts il n'est bruit que de la nouvelle source d'électricité découverte par le célèbre professeur de Pavie. Carlisle et Nicholson ont décomposé l'eau.... Dès lors faut-il s'étonner de la direction que *Sœmmering* imprima à ses recherches? N'était-il pas naturel qu'il songeât à exploiter les mines, encore vierges, de la science moderne? De là le télégraphe de 1811. — Une pile et trente-cinq circuits métalliques correspondant, vingt-cinq aux lettres de l'alphabet, et dix aux chiffres de notre système de numération, telles étaient les parties essentielles dont il se composait. Les circuits étaient plongés dans un vase rempli d'eau. Aussitôt que le courant passait dans un fil, l'eau se décomposait autour de ce fil et désignait ainsi la lettre transmise. — L'idée d'utiliser la décomposition de l'eau pour la transmission des dépêches était certainement originale ; mais elle n'offrait encore aucune chance de succès.

Les choses en étaient là lorsque, en 1819, *Œrsted* découvrit, à Copenhague, l'action qu'exerce un courant sur l'aiguille aimantée. Déjà, depuis longtemps, les physiciens soupçonnaient le rapport qui existe entre le magnétisme et l'électricité ; ils avaient remarqué les effets de la foudre sur l'aiguille aimantée; ils savaient aussi que l'aiguille de la boussole s'agite sous l'influence du feu Saint-Elme; mais leur science n'allait pas au delà de ces notions vagues. Œrsted leur apprit que, lorsqu'on tend horizontalement, dans la direction du méridien magnétique, un fil de cuivre traversé par un courant, une aiguille aimantée très-mobile, placée au-dessous du fil, tend à se mettre en croix avec ce courant.

A peine la découverte d'Œrsted était-elle annoncée, qu'*Ampère* formulait une règle très-simple, grâce à laquelle le sens de la déviation pouvait être déterminé. « Imaginez, disait-il, un petit ob-

servateur couché dans le fil conducteur, de manière que le courant entre par les pieds et sorte par la tête; si ce petit observateur à la face tournée vers l'aiguille aimantée, il verra le pôle austral de l'aiguille constamment dévié vers sa gauche. »

Ampère ne s'en tint pas à la création de son petit personnage lilliputien. Dans un Mémoire qu'il publia sur les phénomènes électro-dynamiques, il s'exprimait ainsi :

« D'après l'expérience que m'a indiquée M. le marquis de Laplace, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, et en plaçant chaque lettre sur une aiguille différente, établir, à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles et qu'on ferait communiquer alternativement, par ses deux extrémités, à celles de chaque conducteur, former une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails qu'on voudrait transmettre, à travers quelques obstacles que ce soit, à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec assez de facilité et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre. »

Mais les effets des courants sur l'aiguille aimantée sont généralement très-faibles; il fallait donc, avant tout, songer à les multiplier; c'est ce que fit Sweigger, au moyen de son galvanomètre ou multiplicateur électrique, que Nobili devait plus tard perfectionner.

Cependant, douze ans s'écoulèrent avant que l'idée d'Ampère fût reprise et mise à exécution à Saint-Pétersbourg. L'appareil construit par *le baron de Schilling* consistait en un certain nombre de fils de platine séparés les uns des autres par une substance isolante et réunis en un faisceau dans une corde de soie. Les deux stations étaient reliées par ce câble; une aiguille aimantée, placée dans un galvanomètre, correspondait à chaque fil, et un clavier commandait la marche des courants.

C'est au moyen d'un système analogue que *MM. Gauss* et *Weber* firent correspondre, en 1834, l'observatoire de Gœttingue avec

le cabinet de physique de l'Université, et que, trois ans après, *M. Alexander*, d'Édimbourg, imita leur exemple.

Ici s'arrête la première période de l'histoire de la télégraphie électrique; elle comprend, pour ainsi dire, l'enfance de cet art et son adolescence : son enfance, tant que les physiciens ont recours à la machine à plateau de verre; son adolescence, depuis la découverte de la pile.

Si imparfaits que soient encore les résultats obtenus, il est facile de prévoir que l'agent mystérieux dont Volta vient de doter la science cessera bientôt d'être aveugle et indomptable, et, entre des mains habiles, deviendra intelligent et docile. — Qu'il y a loin déjà, du point où nous en sommes, au temps où Xerxès, pour franchir la distance d'Athènes à Suze, échelonnait des soldats chargés de se crier les nouvelles!

II

Alphabet phonique de M. Steinheil. — M. Morse à bord du *Sully*. — L'hélice magnétisante. — Principe du télégraphe américain. — Manipulateur, récepteur et relais du télégraphe de Morse. — Suppression du relais. — Rouleau compositeur de M. Paul Garnier. — Système de M. Hughes. — Le bleu de Prusse de M. Bain. — Les horloges électriques et le don d'ubiquité.

La seconde partie de l'histoire de la télégraphie électrique commence aux travaux de *M. Steinheil;* elle comprend trois périodes, qui s'enchevêtrent l'une dans l'autre : la période des télégraphes écrivants, celle des télégraphes à aiguilles et enfin celle des télégraphes à cadran.

M. Steinheil paraît être le premier qui ait, je ne dis pas imaginé, mais construit un télégraphe enregistreur. — En juillet 1838, il établit à Munich un système composé de deux fils enroulés sur des multiplicateurs électriques; chaque multiplicateur était muni d'une aiguille aimantée. Les battements de cette aiguille avaient lieu à droite ou à gauche, grâce à la source qui fournissait le fluide: c'était une machine à rotation analogue à celle de Clarke.

En oscillant, les aiguilles frappaient de petites cloches, dont les sons étaient différents; il avait donc fallu créer préalablement un alphabet phonique. — Mais les sons ne causent que des impressions fugitives. M. Steinheil, afin de conserver les traces des sons

produits, avait pris garde qu'à chaque coup de cloche l'aiguille, par l'intermédiaire d'organes convenablement disposés, écrivît sur une bande de papier la note que la cloche faisait entendre. Après chaque déviation, de petits aimants régulateurs ramenaient les aiguilles dans leurs positions primitives.

Au moyen du système dont nous venons de tracer l'esquisse, l'inventeur avait relié son observatoire avec l'Académie des sciences, et celle-ci avec l'observatoire royal de Munich. Le conducteur qui rattachait ces trois stations l'une à l'autre était en cuivre ; il n'avait pas moins de 36,000 pieds de longueur et 3/4 de ligne d'épaisseur. — Quant au fil de retour, on l'avait supprimé, depuis que M. Steinheil avait découvert que le sol peut en tenir lieu. Le conducteur se terminait par deux plaques de cuivre enfoncées dans la terre.

Si personne ne conteste à l'inventeur bavarois la part d'honneur qui lui revient comme premier constructeur, un Américain, *M. Morse*, peut, à juste titre, revendiquer la gloire d'avoir conçu le premier télégraphe écrivant. — L'idée lui en vint à bord du *Sully*, en 1832, six ans, par conséquent, avant les essais de M. Steinheil. Le capitaine de vaisseau William Pell, et le ministre des États-Uuis auprès du gouvernement français, M. Rives, ont affirmé, devant l'Académie des sciences de Paris, qu'un projet de télégraphe-enregistreur leur avait été communiqué par M. Morse, à l'époque de son second voyage en Europe. De pareils témoignages ne souffrent pas de contestation.

Le télégraphe de M. Morse prend donc ici la place qui lui revient de droit. Toutefois, avant d'en donner la description, il convient d'expliquer le principe sur lequel il repose, et, pour cela, de jeter un coup d'œil en arrière, et de remonter jusqu'à la découverte de l'aimantation temporaire du fer doux.

Cette découverte date de 1820 ; elle est due à *François Arago*. Ce savant, ayant plongé le fil conjonctif d'une pile dans de la limaille de fer, constata qu'il se forme, autour du fil, comme un manchon de limaille composé d'anneaux serrés les uns contre les autres. Ampère, se basant sur des considérations théoriques très-concluantes, proposa, pour produire l'aimantation, de lancer l'électricité dans des fils enroulés en spirale. De là la création de l'hélice magnétisante.

Le barreau aimanté par ce procédé est-il en acier, il conserve

ses propriétés attractives : il se transforme en aimant; la métamorphose est complète. — Ce barreau est-il en fer doux, il perd sa vertu dès que le circuit est interrompu, car le fer doux est privé de la force coercitive.

C'est précisément sur l'aimantation temporaire produite dans le fer doux par les courants qu'est fondé le télégraphe que nous allons décrire.

Afin de jeter sur la question le plus de lumière possible, il n'est pas inutile de faire une halte de quelques instants, et, laissant de côté tout détail de construction, d'exposer, d'une manière générale, comment le principe de l'aimantation temporaire du fer doux fournit la solution du problème de la télégraphie.

Transportons-nous donc, par la pensée, à l'époque où fut établie en France la première ligne électrique, et choisissons pour stations les deux villes qui furent reliées les premières, c'est-à-dire Paris et Rouen.

Entre ces deux points étendons un fil s'attachant, à Paris, au pôle positif d'une pile énergique dont le pôle négatif communique avec le sol; puis, à Rouen, après avoir enroulé le conducteur sur une bobine placée dans le voisinage d'un barreau de fer doux, mettons l'extrémité du fil en contact avec la terre. — Tant que la pile ne fonctionnera pas, tout restera dans la plus complète inaction; mais, aussitôt que la pile sera mise en activité, l'hélice de Rouen deviendra magnétisante; la tige de fer doux se précipitera vers la bobine et n'échappera à son influence que si l'on vient à interrompre le circuit; alors, l'hélice perdant sa puissance, le barreau recouvrera la liberté.

M. Morse cherchait, dès 1832, à utiliser le mouvement de va-et-vient qui peut être engendré de la sorte : il en fit part aux passagers du *Sully*. — « Si j'armais, leur dit-il, la tige oscillante de fer doux, d'un crayon ou d'un style, et si, devant ce crayon ou ce style, je déroulais une feuille de papier, ne serait-il pas possible de disposer les pièces de manière qu'un trait ou un point fût fait à chaque mouvement d'attraction? »

Telle fut l'idée qui devait conduire le peintre américain à la réalisation de l'appareil grâce auquel les principales villes de l'Europe ne sont plus, pour la distance, que des faubourgs de Paris.

Voyons maintenant en quoi consiste le télégraphe-enregistreur de M. Morse.

Il y a dans tout télégraphe électrique quatre parties essentielles à considérer : la source de fluide, le conducteur, le manipulateur et le récepteur.

Prenons la pile pour source d'électricité ; pour conducteur, un fil de fer galvanisé, et examinons de près le *manipulateur*, c'est-à-dire l'organe au moyen duquel l'employé du poste de départ communique avec les diverses stations.

Cet organe est un simple interrupteur ; il est formé d'un levier métallique, mobile autour d'un axe horizontal ; c'est la *clef* du manipulateur. L'axe est constamment en communication électrique avec le fil de ligne. — A sa partie inférieure, la clef présente une saillie, désignée sous le nom de *marteau*, et, en regard du marteau, sur la planchette qui porte le manipulateur tout entier, se trouve une petite *enclume* qu'un fil relie au pôle positif de la pile.

Quand on presse sur le bouton de cristal qui termine le levier, le marteau frappe l'enclume, le circuit est fermé et le courant passe ; mais, quand cesse toute pression, un ressort antagoniste ramène le levier à la position horizontale, le marteau ne touche plus l'enclume et le circuit est interrompu. — C'est donc en appuyant sur le bouton et en prolongeant plus ou moins le contact qu'on lance, dans le fil de ligne, une série de courants discontinus dont on peut à volonté régler le rhythme.

Quant au *récepteur*, il se compose, comme le manipulateur, d'un levier mobile autour d'un axe horizontal ; seulement, la force qui agit sur ce levier n'est plus la main de l'homme : c'est un électro-aimant animé par le fil de ligne, et qui, lorsque le courant passe, sollicite le levier de haut en bas. Celui-ci, aussitôt que le courant cesse, est ramené à la position horizontale par un ressort de rappel. Deux taquets limitent la course du levier.

A l'une de ses extrémités, le levier du récepteur est muni d'un style. Lorsque l'électricité circule dans le conducteur, et, par conséquent, lorsque les bobines deviennent magnétisantes, le style porte sur une bande de papier enroulée sur un dévidoir. Deux rouleaux tournants entraînent le papier d'un mouvement uniforme. — Selon que le style presse plus ou moins longtemps sur la bande, il y fait, par repoussage, un point ou un trait. Une rainure pratiquée dans l'un des rouleaux facilite l'empreinte de la pointe d'acier. Non-seulement cette rainure aide à l'opération, mais encore elle

empêche que les traits ne soient effacés par le passage des rubans de papier entre les deux cylindres qui font l'office de laminoir.

En combinant les points et les traits, on a établi les signaux suivants qui sont aujourd'hui mis en usage dans toutes les administrations :

Lettres.

— —	— — — —	— — — —	— — —	—	— — — —	— — —	— — — —	— —
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*

— — — —	— — —	— — — —	— —	— —	— — —	— — — —
j	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*

— — — —	— — —	— — —	—	— — —	— — — —	— — —	— — — —
q	*r*	*s*	*t*	*u*	*v*	*w*	*x*

— — — —	— — — —
y	*z*

Chiffres.

— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —
1	2	3	4	5	6

— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —
7	8	9	0

Signaux réglementaires.

— — — — —	— — — — —	— — — — — — —
compris	*répétez*	*télégraphe*

L'appareil de Morse ne fonctionne bien qu'autant que l'hélice magnétisante est très-puissante. Cette condition exige un courant intense, et, par suite, l'emploi d'un grand nombre de couples. On remédie à cet inconvénient au moyen du *relais* de M. Wheatstone. — C'est un système destiné à lancer dans le récepteur le courant d'une pile voisine, que l'on nomme *pile locale*. Mais il importe que ce courant soit lancé au moment même où le fil de ligne est parcouru par l'électricité venant du manipulateur. Pour arriver à ce résultat, on enroule le fil, non pas sur les bobines du récepteur, mais sur des bobines intermédiaires qui font partie du relais. Un levier de fer doux, analogue à celui du manipulateur, est placé près de ces bobines. Lorsque les hélices deviennent magnétisantes, le levier est attiré et ferme le circuit de la pile locale. Comme le récepteur est placé dans ce circuit, à l'instant même où l'électricité de

la ligne aimante les bobines du relais, la pile locale communique au récepteur la puissance que celui-ci ne pouvait emprunter directement au manipulateur.

Tel est l'artifice auquel M. Wheatstone a recours. — M. Siemens a, de son côté, imaginé un autre relais dont la pièce principale... Mais à quoi bon donner la description de ce système ; si simple qu'il soit, il constitue toujours une complication ; le mieux est de s'en passer. — M. Hipp arrive à cette suppression, en confiant au mouvement d'horlogerie le soin de guider le levier écrivant, et en réduisant le rôle de l'électro-aimant à celui d'un simple régulateur.

Un autre perfectionnement mérite d'être cité : c'est l'introduction dans le télégraphe américain du *rouleau compositeur* de M. Paul Garnier. Ce rouleau consiste en un cylindre dont l'axe porte à l'une de ses extrémités une vis à pas rapide. Quand on imprime au cylindre un mouvement de rotation, non-seulement tous ses points décrivent des cercles, mais encore ils participent à un mouvement de translation dans le sens de l'axe. — La pièce qui transmet le courant s'appuie sur une saillie hélicoïdale qui règne autour du cylindre. Grâce à la disposition de ce filet on peut, avant de mettre le cylindre en position, créer autant d'interruptions qu'on le désire. Il est donc possible de composer d'abord la dépêche, comme on le ferait dans une imprimerie, puis, quand le prote a corrigé l'épreuve, de mettre le roulean en prise avec la pièce qui fait passer le courant. Le cylindre est mis en mouvement; le papier du récepteur se gaufre ; la dépêche est transmise.

Le télégraphe américain n'est pas le seul appareil enregistreur que nous ayons à citer. Un habile constructeur, ancien élève de l'École polytechnique, M. Froment, a proposé un modèle dont le crayon fait, non plus des traits d'inégale longueur, mais une série de lignes droites et de zigzags que l'on peut combiner de manière à former un alphabet.

Outre le télégraphe dont il est l'inventeur, M. Froment en construisait dernièrement un autre dont le plan lui avait été communiqué par un professeur américain, M. Hughes. Dans ce système, dont les *Annales télégraphiques de* 1860 ont donné la description, la feuille de papier sur laquelle la dépêche doit être imprimée en *caractères romains*, est successivement appliquée, par le jeu d'un excentrique, contre les lettres composant les mots que l'on veut transmettre. Ces lettres sont placées sur la tranche

d'une roue verticale, nommée *roue des types*, que des rouages, mis en jeu par un poids, mettent en mouvement. La marche de l'excentrique est commandée, non pas par l'aimantation temporaire d'un barreau de fer doux, mais au contraire par la désaimantation partielle d'un aimant permanent. Parmi les avantages que M. Hughes attribue à son télégraphe, il cite l'économie notable qu'il peut faire dans l'intensité du courant dont le fil de ligne est traversé; « de plus, ajoute-t-il, avec mon appareil, une seule émission du courant suffit pour imprimer une lettre, tandis que, dans le système de Morse, il en faut trois en moyenne. »

Cependant, malgré les avantages signalés par l'inventeur, M. Bergon, inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, conclut prudemment, dans un rapport très-consciencieux publié sur ce sujet, qu'il serait peut-être téméraire de se prononcer dès aujourd'hui sur la valeur réelle du télégraphe de M. Hughes; qu'il y a lieu de se demander si la marche synchronique des appareils placés aux deux postes d'observation, marche indispensable pour la transmission des dépêches, ne sera pas, dans la pratique, une difficulté insurmontable; qu'il est à craindre que, le synchronisme étant rompu, les deux observateurs n'échangent, sans pouvoir y remédier, des signes inintelligibles.

Ne nous arrêtons donc pas davantage à un système, très-habilement conçu, il est vrai, mais dont le succès est encore incertain, et arrivons, sans plus tarder, au *télégraphe électro-chimique*, le premier, selon nous, des appareils enregistreurs. Que les grandes lignes télégraphiques aient ou non adopté cette innovation, peu nous importe; il est facile de pressentir l'avenir qui lui est réservé. Aussi ne laisserons-nous pas échapper l'occasion d'exposer rapidement le principe de cette ingénieuse création.

Tout le monde connaît la substance dont le nom technique est cyanure de fer, et qu'on appelle vulgairement bleu de Prusse, parce qu'elle fut découverte, en 1710, par Diesbach, fabricant de papier à Berlin.

Parmi les procédés au moyen desquels on peut préparer cette substance, il en est un qui nécessite l'emploi de l'électricité: — c'est précisément sur la réaction qui a lieu dans ce cas que repose le télégraphe de M. Bain.

Un mécanisme d'horlogerie imprime un mouvement de rotation à un disque de cuivre horizontal en communication électrique

avec le sol ; sur ce disque se trouve une feuille de papier préalablement trempée dans une dissolution aqueuse de ferro-cyanure de potassium. — Une pointe d'acier, reliée par un conducteur métallique au pôle positif d'une pile, presse légèrement sur la feuille de papier humide. — Dès que la pile fonctionne, une réaction chimique a lieu, le sel est décomposé : le fer remplace le potassium, du bleu de Prusse prend naissance; de sorte que, selon la durée du courant, des points ou des lignes bleues apparaîtront sur le papier. — D'ailleurs, comme le style est porté par un bras de levier dont la longueur varie peu à peu, les signes bleus se grouperont naturellement en spirale. Il ne s'agira plus alors que de les interpréter.

Un des inconvénients du télégraphe de M. Bain, c'est qu'il exige un courant énergique, car la décomposition du ferro-cyanure de potassium et la formation du bleu de Prusse n'ont lieu qu'à ce prix. Un relais y est donc indispensable. — En revanche, toute hélice magnétisante a disparu; aussi la production des signes est-elle extrêmement rapide.

On reproche également au même télégraphe la nécessité dans laquelle il met l'opérateur de se servir d'un papier humide. — M. Pouget-Maisonneuve se sert d'une solution qui permet de préparer à l'avance les bandes sensibles. La formule de cette solution est la suivante :

Eau.	100	parties.
Ferro-cyanure de potassium.	5	—
Azotate d'ammoniaque. . .	150	—

Le papier préparé au moyen du bain de M. Maisonneuve retient l'humidité avec tant d'énergie, qu'on peut l'employer plusieurs mois après sa préparation; il suffit, pour cela, de le conserver dans des terrines en grès.

En résumé, parmi les télégraphes enregistreurs, celui de M. Bain repose sur des réactions chimiques; ceux de MM. Froment et Morse s'appuient sur l'aimantation temporaire du fer doux. — Que de problèmes cette aimantation temporaire est appelée à résoudre ! Un jour viendra où, grâce à ce phénomène, non-seulement les dépêches seront transmises, avec la rapidité de la pensée, d'un bout du monde à l'autre, mais encore où l'heure coulera, dans toutes les villes, comme l'eau et le gaz dans les conduites souterraines.

— Paris a des pompes et des usines qui l'alimentent d'eau et de lumière; il possédera, dans un avenir prochain, des laboratoires où l'heure se fabriquera en grand, pour être distribuée dans tous les quartiers.

Bien plus, Listz et Prudent auront, en ce temps-là, le don d'ubiquité. Si un constructeur habile y consent, comme le dit quelque part un écrivain de beaucoup d'esprit, M. Victor Meunier, si M. Froment, par exemple, veut s'en donner la peine, Paris assistera, chaque hiver, aux concerts donnés à Saint-Pétersbourg...

Mais revenons à la télégraphie électrique.

III

Un mot sur le *Journal of popular education.* — Le télégraphe anglais. — Télégraphe à cadran de M. Wheatstone. — Appareil portatif de Bréguet. — Télégraphe à clavier de M. Froment. — Télégraphe intime de l'an X de la république. — Le secret du citoyen Jean Alexandre.

Parmi les feuilles anglaises qui répandent la lumière dans les masses et ouvrent au peuple les horizons de la science, il en est une qui mérite une mention spéciale, c'est le journal *of Popular Education.* — Dans un numéro du mois de mars 1837, cette feuille publia un projet de télégraphe électrique récemment conçu par M. Wheatstone. L'article fit sensation.

Trois mois s'écoulèrent..... M. Wheatstone s'aboucha avec M. Cooke, qui, de son côté, étudiait depuis longtemps la question de la télégraphie. Chose étrange! les deux savants s'entendirent : le 12 juin, ils prirent leur premier brevet, et quelque temps après, ainsi que nous l'apprend le docteur Brugnières dans une lettre adressée au *Moniteur industriel*, deux postes télégraphiques étaient installés sur le chemin de fer de Londres à Birmingham.

Le système de *MM. Wheastone et Cooke* avait une grande analogie avec celui du baron de Schilling. — Il consistait en cinq conducteurs aboutissant chacun à une aiguille aimantée. Les mouvements des aiguilles étaient combinés deux à deux, trois à trois, etc., de manière à produire un assez grand nombre de signaux. Un clavier commandait le passage des courants et par conséquent la déviation des aiguilles. Enfin une cloche d'alarme, dont le marteau était mû par un électro-aimant, appelait l'attention du correspondant.

Le télégraphe à cinq aiguilles, quoique assez simple, ne fournissait pas encore la solution pratique du problème de la télégraphie. — De là les nouvelles recherches de M. Wheatstone, et son plan d'un système à deux aiguilles ; de là le télégraphe anglais tel qu'il fonctionne encore aujourd'hui.

Dans ce système, deux aiguilles aimantées sont soumises chacune à l'influence d'un multiplicateur, et un commutateur permet d'agiter les aiguilles dans un sens ou dans l'autre. En lançant le courant dans les fils, on met les aiguilles en mouvement. Celles-ci buttent contre des chevilles qui limitent leur course, et, en combinant les oscillations, on compose facilement un alphabet. Voici, du reste, le tableau des signes conventionnels dont on se sert le plus communément; dans ce tableau, *g* désigne un mouvement à gauche de l'extrémité inférieure de l'aiguille, et *d* un mouvement à droite.

UNE SEULE AIGUILLE EST EN MOUVEMENT.				LES DEUX AIGUILLES OSCILLENT PARALLÈLEMENT.	
Aiguille gauche.		Aiguille droite.			
+	g	h	g	r	g
a	gg	i	gg	s	gg
b	ggg	k	ggg	t	ggg
c	dg	l	dg	u	dg
d	gd	m	dg	v	gd
e	d	n	d	w	d
f	dd	o	dd	x	dd
g	ddd	p	ddd	y	ddd

Quelques-unes des lettres de notre alphabet ne figurent pas dans cette liste ; on les remplace par celles qui produisent le même son. M. Wheatstone foule impitoyablement aux pieds les règles de l'orthographe.

Une seule aiguille, un seul fil, seraient suffisants pour la transmission des dépêches ; seulement les signes seraient représentés par un plus grand nombre de battements. En Belgique, où cette remarque a été mise à profit, on a composé un alphabet dans

lequel la lettre *f*, qui est la plus compliquée, correspond à cinq oscillations de l'aiguille.

Quoi de plus facile à installer que de pareils télégraphes? Malheureusement ils ne laissent aucune trace de la dépêche envoyée, et exigent une grande habileté de la part de l'opérateur. — Cependant, à l'époque de notre dernier voyage en Angleterre, nous avons vu des enfants, employés aux postes télégraphiques, faire preuve d'une très-grande adresse. Quoi qu'il en soit, on ne peut se défendre d'une certaine inquiétude en voyant à l'œuvre ces petits interprètes. Que l'un d'eux soit un jour préoccupé d'une partie de barres brusquement interrompue, et nous recevrons quelque nouvelle capable de mettre toutes les têtes à l'envers.

C'est aussi à M. Wheatstone qu'on doit le *télégraphe à cadran*, qui date seulement de 1841, et dont voici le principe :

On sait que tous les corps ne sont pas conducteurs de l'électricité; que la soie et l'ivoire, par exemple, sont des matières isolantes.

Cela posé, prenez une roue en cuivre armée de vingt-six dents, et comblez, avec des pièces d'ivoire, les intervalles compris entre ces dents. — L'ivoire ne conduisant pas l'électricité, si l'on met le fil de ligne en communication avec l'axe de la route dentée et le pôle positif de la pile avec la circonférence de la même roue, il est clair que vingt-six fois le courant ira d'une station à l'autre, et que vingt-six fois il sera interrompu.

Le récepteur n'est pas plus compliqué. — Il se compose d'un électro-aimant horizontal fixé à l'une de ses extrémités. L'autre extrémité attire, quand le circuit est fermé, une armature de fer doux qui fait partie d'un levier coudé. Celui-ci est mobile autour d'un axe horizontal; dévié de sa position lorsque l'hélice voisine devient magnétisante, il y revient sous l'influence d'un ressort antagoniste dès que l'hélice perd sa vertu.

Le levier coudé, par l'intermédiaire d'une tige convenablement disposée et d'une fourchette solidaire avec la tige, imprime un mouvement de rotation à une roue à rochet dont l'axe porte une aiguille indicatrice. — L'inclinaison des dents est calculée, pour que la fourchette, en revenant à sa position primitive, ne ramène pas la roue avec elle.

Lorsqu'on tourne la roue du manipulateur, le ressort qui établit le contact avec la circonférence touche tantôt une dent de cuivre

et tantôt une pièce d'ivoire; le courant est donc successivement établi et interrompu. — Si l'on fait avancer de cinq dents et par suite de cinq lettres l'aiguille indicatrice du manipulateur, le courant sera cinq fois lancé dans le fil de ligne, et cinq fois il sera intercepté. L'hélice de la station d'arrivée sera donc cinq fois magnétisante et cinq fois neutre, et par suite la roue à rochet et l'aiguille du récepteur marcheront de cinq lettres.

Supposons, pour préciser les idées, que le mot à transmettre soit « Amiens. » On fera avancer l'aiguille du manipulateur qui est sur le signe + jusqu'à la lettre A. Là, on s'arrêtera quelques instants. Comme l'aiguille du récepteur répète les mouvements de celle du manipulateur, elle viendra d'elle-même se placer sur la lettre A. — De cette lettre, on passera à M, puis à I, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le mot soit complet. Le récepteur, écho fidèle du manipulateur, répétera ce que ce dernier aura prononcé.

On le voit, le télégraphe à cadran n'écrit pas la dépêche, mais il en met tous les éléments sous les yeux de l'observateur, et la compose, pour ainsi dire, en caractères d'imprimerie.

A l'exemple de M. Wheatstone, *M. Bréguet* a construit, il y a un certain nombre d'années, un télégraphe à cadran très-usité en France, et que les administrations de chemins de fer ont adopté pour leurs correspondances. C'est au moyen de ce télégraphe que sont reliées chez nous les diverses stations d'une voie ferrée; les chefs de service peuvent ainsi s'entretenir à distance aussi facilement et aussi vite que s'ils se trouvaient réunis dans le même bureau.

M. Bréguet ne s'en est pas tenu là : il a imaginé pour les chemins de fer un appareil mobile que l'expérience nous a appris à apprécier. Le chef du train l'a sous la main et peut, en le faisant fonctionner, donner l'alarme dans les stations voisines.

Cet ingénieux système n'est, au fond, qu'une réduction du télégraphe à cadran. — Si un accident a lieu sur la voie, le chef du train met pied à terre; il enfonce entre deux rails un coin de fer dont l'extrémité du fil négatif du télégraphe est armé, puis il accroche le fil positif au fil de ligne. Aussitôt que ces préparatifs sont terminés, la pile du train lance un courant qui se bifurque au fil de ligne, et se rend aux deux stations voisines. Celles-ci sont prévenues, et le secours arrive.

La pile dont on se sert en cette occasion diffère un peu de la pile ordinaire. Elle est formée de couples de Daniel, dont l'élément zinc est entouré de sable imbibé d'eau, et l'élément cuivre de sable humecté avec une dissolution saturée de sulfate de cuivre. On évite ainsi les renversements de liquide que les secousses rendraient fréquents.

Non-seulement le télégraphe portatif de Bréguet peut servir à éviter les collisions sur les voies ferrées et à demander du secours, en cas d'accident, mais il se prête très-commodément à l'installation d'un poste provisoire de télégraphie.

Enfin, on doit encore à Bréguet un télégraphe à renversement, c'est-à-dire un système qui lance dans le conducteur, non plus des courants interrompus, mais des courants alternativement de sens contraires. A chaque renversement l'aiguille indicatrice marche d'une lettre.

Il ne faut pas s'étonner si le nom de M. Bréguet est souvent revenu sous notre plume : digne rejeton de l'académicien Abraham Bréguet, il a puissamment contribué en France aux progrès de la télégraphie électrique. — Son émule, M. Froment, de qui nous avons déjà parlé, a également construit, de main de maître, un télégraphe à cadran dont la marche est commandée par un clavier. Des touches semblables à celles de nos pianos, et portant chacune une lettre de l'alphabet, permettent au plus inexpérimenté de transmettre au besoin une dépêche électrique.

Maintenant que nous avons passé en revue les principaux modèles de télégraphes à cadran, ne convient-il pas de chercher à qui revient l'honneur de l'invention? — C'est à M. Wheatstone, dit-on de tous côtés; c'est à M. Wheatstone, avons-nous répété nous-même... Sans aucun doute, le savant anglais mérite à tous égards la brillante renommée que ses travaux lui ont conquise; mais il nous semble que l'origine de la télégraphie à cadran est plus ancienne. Lisez les annales de la télégraphie, et vous verrez qu'en l'an X de la République française, un artisan, nommé *Jean-Alexandre*, proposa un appareil destiné à détrôner le système aérien de Claude Chappe.

Cet artisan avait eu la vie la plus aventureuse; sa naissance même était entourée de mystère : on le disait fils naturel de J. J. Rousseau. — D'abord mécanicien à Poitiers, puis doreur sur métaux, il était devenu chantre à Saint-Sulpice. C'était son premier

pas sur la route des honneurs! Quittant le lutrin pour la politique, il fut successivement président de la section du Luxembourg, représentant à la Convention, commissaire général des guerres, ordonnateur de la division militaire de Lyon et agent supérieur près l'armée de l'Ouest, avec mission d'organiser une armée de 200,000 hommes.

Mais, amant infidèle de la science, il se souvenait de ses charmes, et devait revenir à elle comme on revient à sa première maîtresse. De retour à Poitiers, il reprit modestement son métier d'artiste mécanicien et conçut le projet d'un nouveau télégraphe.

De quel moteur se servait Jean-Alexandre? Seul, le citoyen Beauvais, qui devint son associé, eût pu le dire; seul il en connut le secret. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'Alexandre avait renoncé à l'emploi de la bouteille de Leyde, et que la pile venait d'être découverte. N'est-ce pas une raison de soupçonner que l'agent mystérieux auquel recourait l'inventeur était l'électricité dynamique?

Ce qu'on peut affirmer encore, c'est que l'ancien chantre de Saint-Sulpice transmettait instantanément une dépêche à cinq ou six lieues de distance; — c'est que la nuit, le brouillard, le passage d'une rivière, étaient des obstacles dont il se jouait; — c'est enfin que la nouvelle expédiée se lisait sur *deux cadrans* dont les couronnes circulaires portaient les lettres de l'alphabet.

M. Édouard Gerspach, à qui l'on doit de précieuses recherches sur ce sujet, nous apprend les noms des témoins oculaires des expériences faites avec le télégraphe intime. Parmi eux on compte le préfet Cochon et l'ingénieur Lapeyre.

Pourquoi Alexandre refusa-t-il d'envoyer à Chaptal le plan de son appareil? A la vue de ce plan, le ministre eût sans doute accordé une subvention au défiant inventeur; le nom du premier consul n'eût pas été invoqué vainement; Delambre ne s'en fût pas tenu à un simple rapport, et nous n'aurions pas vu, leçon terrible! le pauvre artisan mourir de misère au commencement du dernier règne.

IV

Nouvelle scientifique. — Le télégraphe autographique du chevalier Bonelli. — Essais de l'abbé G. Caselli. — Les fils aériens. — Les conducteurs souterrains. — Le canon de Douvres. — Le câble transatlantique. — Opinion du docteur Conneau. — Hypothèse de M. Babinet. — M. Gavarret et le lieutenant Maury. — Conclusion.

Il y a quelques mois, on lisait dans les colonnes de la *Patrie :*

« Un journal de Lille annonce que des expériences du plus haut intérêt viennent d'être faites et doivent se renouveler prochainement sur la ligne télégraphique de Paris à Amiens. Il s'agit d'un nouvel appareil qui a la propriété de reproduire, ligne pour ligne et trait pour trait, l'écriture de la personne qui transmet une dépêche. La précision est telle, qu'on reproduit aussi des portraits avec la même netteté que l'écriture.

« L'une des dépêches reçues à Amiens était ornée d'un dessin que le télégraphe avait reproduit au bas d'une lettre. »

Que de gens se sont récriés à la lecture de cette nouvelle et ont accusé de crédulité exagérée l'auteur de cet entrefilet ! Certains lecteurs sont même allés jusqu'à lui appliquer de cruelles épithètes et ont trouvé, dans la classe des palmipèdes, un nom à donner aux lignes inoffensives que nous venons de citer.

— Vous avez tort, chers incrédules, car la nouvelle se confirme ; les expériences ont été reprises et couronnées d'un plein succès.

Ce qui a jeté le doute dans vos esprits, c'est cette opinion erronée, très-commune dans le monde, que tout télégraphe électrique repose sur un mouvement de va-et-vient produit soit par l'action directrice d'un courant, soit par l'aimantation temporaire d'une pièce de fer doux. Sans doute, la plupart de nos télégraphes sont fondés sur ces principes, mais il ne s'ensuit pas qu'on ne puisse construire un appareil sur des bases tout à fait différentes.

Cela est si vrai, que nous avons déjà donné la description d'un télégraphe enregistreur, dans lequel le style demeure immobile.— Par le seul fait du passage de l'électricité sur du papier trempé dans une dissolution de cyanure de potassium, nous avons vu la dépêche apparaître en caractères bleus.

C'est au moyen d'un système analogue qu'on pourra désormais envoyer sa signature par le télégraphe : les moindres fioritures

seront respectées; le récepteur reproduira les contours les plus capricieux du parafe.

L'inventeur a donc raison de prétendre qu'il produira dans la télégraphie non pas une émeute, mais une véritable révolution. — Du reste, il porte un nom déjà célèbre dans les annales de la science; c'est lui qui, en 1855, fit application de l'électricité aux métiers Jacquart; il est directeur général des télégraphes dans les États sardes... C'est *le chevalier Bonelli.*

Comment est-il arrivé à ce merveilleux résultat? Quelles profondes combinaisons lui ont fourni la solution d'un problème aussi épineux? — Des connaissances si élémentaires, des notions si simples que chacun de nous aurait dû y penser.

Disons d'abord que son système diffère complétement de tous ceux que nous avons décrits jusqu'à présent. Le parti le plus sage est donc de faire table rase et de ne conserver qu'un seul souvenir, celui de l'action chimique qu'exerce l'électricité sur certaines dissolutions. — Ne nous embarrassons pas d'un plus pesant bagage.

Supposons qu'étant à Paris, nous désirions envoyer notre signature à Amiens; nous procéderons de la manière suivante : au bureau du télégraphe, nous signerons notre nom sur une feuille qui nous sera présentée. Cette feuille, au lieu d'être faite de papier ordinaire, sera recouverte sur l'une de ses faces d'un enduit métallique.

L'employé prendra alors de nos mains la bande de papier, il l'enroulera sur un dévidoir et la fera passer dans un laminoir analogue à celui du télégraphe Morse.

En se déroulant, le ruban se trouvera en contact avec les dents d'un peigne bien dressé qui aura exactement la même largeur (fig. 1).

Les dents de ce peigne seront formées par les extrémités de 50 ou 60 fils de fer très-fins et isolés électriquement les uns des autres. — A une certaine distance du rouleau, tout en restant encore isolés électriquement, ils se réuniront en un faisceau et composeront un câble qui se rendra à l'autre poste télégraphique.

Là, en avant d'un laminoir pareil à celui du manipulateur, se trouvera un second peigne exactement semblable au premier.

Le laminoir entraînera, non plus une feuille de papier à enduit métallique, mais un ruban préalablement trempé dans une dissolution de cyanure de potassium. — Toutes les fois qu'un courant passera du rouleau du transmetteur dans celui du récepteur, le

papier chimique bleuira et, au contraire, à chaque interruption, celui-ci conservera sa blancheur.

D'après cela, imaginons que les dents du premier peigne touchent l'enduit conducteur ; le courant, par les dents de ce peigne, passera dans tous les fils du câble et réagira sur le papier chimique, où il produira des hachures bleues ; mais, aussitôt qu'une dent du peigne rencontrera une lettre de la signature tracée sur l'enduit métallique, l'encre étant une substance isolante, le fil correspondant cessera d'être traversé par un courant et un point du papier du récepteur ne subira aucune altération. La même chose aura lieu pour toutes les dents du peigne et pour toutes les lettres du nom ; et, à la fin de l'opération, l'employé du poste d'arrivée lira en blanc, sur un fond bleu, la signature qu'il s'agissait de transmettre.

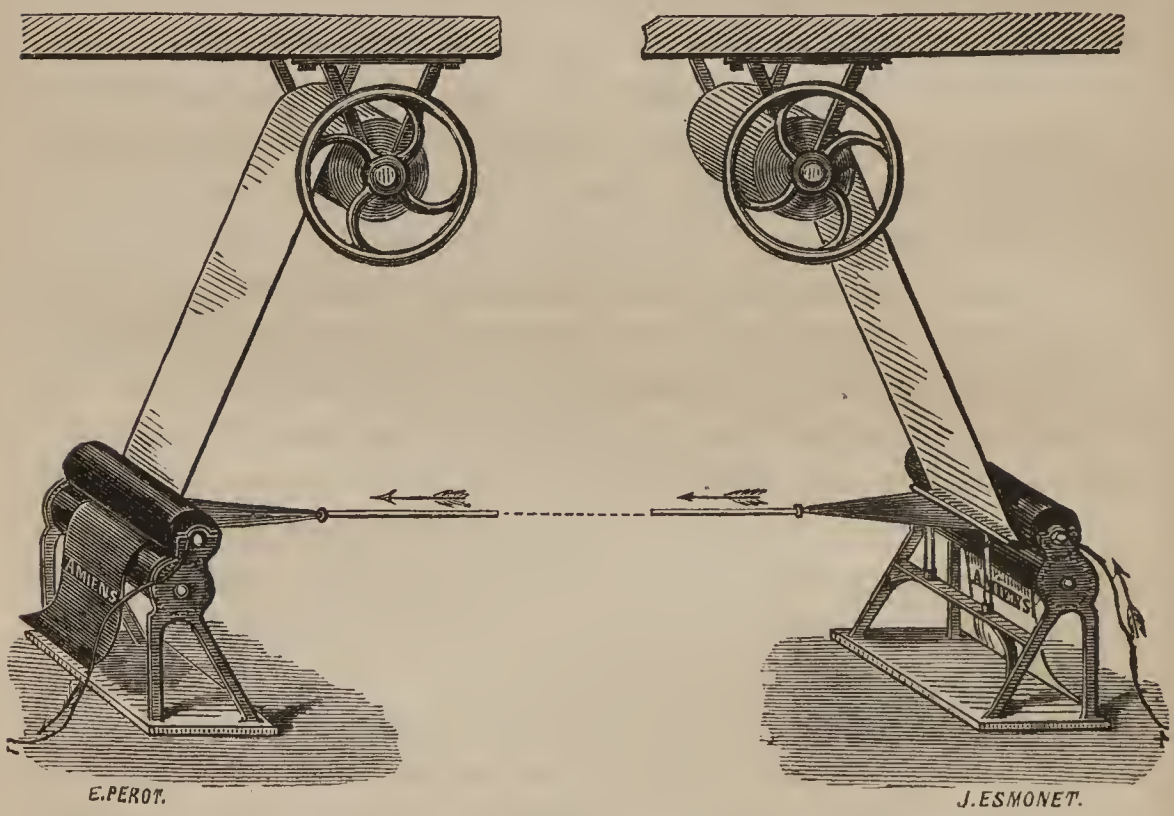

Fig. 1.

Voilà comment on peut reproduire à distance les contours les plus bizarres. — Faut-il s'étonner, après cela, du portrait envoyé de Paris à Amiens par la voie du télégraphe?

Du reste, les essais dont nous venons de parler ne sont pas les seuls qu'on ait tentés. *M. l'abbé Giovanni Caselli*, professeur à Florence, a, de son côté, fait des expériences qui ont conduit à

d'excellents résultats. Tel est, jusqu'à présent, le dernier mot de la science.

Il nous reste, non pas pour avoir tout dit sur ce sujet, car la mine que nous exploitons est inépuisable, mais pour avoir effleuré les diverses parties de la question, à nous arrêter quelques instants aux conducteurs qui relient entre elles les différentes stations.

Ces conducteurs sont de trois sortes : aériens, souterrains ou sous-marins.

Les *fils aériens* sont en fer galvanisé, c'est-à-dire revêtus d'une couche de zinc qui les protége de l'oxydation. Nous les voyons border les voies ferrées, soutenus, de distance en distance, par des poteaux de sapin. De petites cloches en porcelaine vernie, sous lesquelles sont soudés, au soufre, des crochets en fer, leur fournissent des points d'appui; et des mâts, plus forts que les poteaux ordinaires et munis de treuils, permettent de tendre les fils. — Sous les tunnels, où règne une grande humidité, quelques précautions sont prises : les conducteurs sont revêtus d'une matière isolante et passent dans des anneaux de porcelaine. Enfin, dans les villes, les fils sont soutenus par des barres en bois fixées aux murs des maisons.

Les conducteurs aériens ont plus d'un inconvénient : d'abord, ils sont exposés à tous les accidents que peut causer la malveillance; de plus, par les temps de pluie et de brouillards, ils donnent lieu à des pertes d'électricité, sans compter qu'ils peuvent être traversés par des courants d'induction produits par l'atmosphère elle-même, et que la foudre brise parfois les poteaux et blesse les employés.

Il est vrai qu'il existe des paratonnerres, des parafoudres, des appareils protecteurs de toute espèce; mais ce sont là des complications qu'il serait bon d'éviter.

De là l'idée des *fils souterrains*. Ces fils, revêtus de gutta-percha, sont couchés dans des auges en bois et recouverts de terre.

Les conducteurs souterrains ont, eux aussi, leurs inconvénients : M. E. Highton, chargé de visiter les fils qui longent le chemin de fer de Londres à Birmingham, a trouvé la gutta-percha altérée en plus d'un point du parcours. Chose remarquable, le sol, en ces endroits, était envahi par une végétation blanchâtre. L'altération avait donc pour cause l'action désagrégeante de parasites.

— Voilà pourquoi, depuis quelque temps, on couche les fils sur un lit de bitume.

Quant aux *câbles sous-marins,* qui jouent déjà un rôle si important dans l'histoire de la télégraphie, on en doit la première idée à l'infatigable M. Wheatstone. — Pendant neuf ans, on chercha vainement une substance capable d'isoler les conducteurs dans un milieu tel que l'eau salée. Enfin, en 1849, après l'importation en Europe de la gutta-percha par le docteur Montgomery, M. Walker fit des expériences si décisives, que M. de Brett fut chargé de relier Douvres à Calais.

M. de Brett se mit à l'œuvre ; la jonction eut lieu ; malheureusement le câble, ballotté sur les rochers des côtes de France, fut bientôt mis hors de service. Cependant une nouvelle compagnie s'organisa ; Stephenson en fut l'ingénieur en chef : quatre fils de cuivre furent revêtus de gutta-percha ; le tout, enveloppé d'étoupe goudronnée, fut protégé par une armure de dix gros fils de fer galvanisé et tordus ensemble ; puis, le câble une fois fabriqué, on l'enroula autour d'un treuil immense installé sur le pont du *Glazer.* — L'un des bouts du câble fut attaché à une côte sablonneuse et le vaisseau se mit en marche, tandis que le conducteur se déroulait lentement et se déposait au fond de la mer. Enfin, le 13 novembre 1850, une pile, placée sur les côtes de France, fit tonner le canon de Douvres, et annonça au monde que le miracle était accompli !

Depuis, des câbles sous-marins ont été installés de toutes parts ; la France communique avec l'Afrique ; l'Angleterre avec l'Irlande, la Hollande, la Belgique ; des lignes électriques traversent les mers du Nord, des Indes et de l'Amérique... A l'époque de la guerre de Crimée, pendant le siége de Sébastopol, un câble, jeté de Varna à Balaklava, nous rapprochait de notre vaillante armée.

Mais la tentative la plus grandiose que l'on ait faite est, sans contredit, la jonction de l'Europe au continent américain. Ne fallait-il pas une hardiesse surhumaine pour tenter de relier Terre-Neuve à Valentia ? Le génie seul a de pareilles audaces ! Nous nous rappelons les récits enthousiastes des journaux anglais racontant la rencontre, au milieu de l'Océan, des navires le *Niagara* et l'*Agamemnon ;* il nous semble encore voir les drapeaux arborés et entendre les cris de joie poussés à Londres, lorsque l'*Agamemnon,* de retour à Valentia, reçut, par le fil immergé, la nouvelle

de l'entrée du *Niagara* dans la baie de la Trinité. — Les actions de la compagnie montèrent de 300 à 900 livres !

La joie fut de courte durée. Dans le mois d'août 1858, quelques messages furent transmis avec lenteur; puis, à partir du 3 septembre, l'appareil fut pris de vertige : il parlait au lieu de se taire, et se taisait au lieu de parler; c'était un véritable délire. — Le service dut être interrompu.

Quelle était la cause de cette rébellion, de ces incohérences? Le câble s'était-il rompu? — Non, disent certains critiques, puisque, par intervalles, l'appareil avait des éclairs de lucidité.

Le *docteur Conneau* ne partage pas leur avis. Voici en quels termes il s'exprime dans une brochure très-remarquable qu'il vient de publier [1] et que l'*Ami des sciences* du 3 mars dernier a reproduite en entier.

« Un témoin oculaire, qui a assisté à la pose du câble transatlantique, dit que le tiraillement produit par le frein, à bord du Niagara, était tel, qu'une grande quantité de goudron suintait à travers le câble, à mesure que celui-ci filait; preuve évidente que les spirales de fil de fer exerçaient une forte pression sur la partie centrale, en s'allongeant et en se rapprochant du centre... Les fils de l'âme du câble se sont donc probablement rompus, les uns après les autres, à des distances variables. — Cependant les extrémités rompues, étant encore fraîches et polies, ont pu permettre au courant de franchir les espaces qui séparaient les bouts l'un de l'autre ou la distance assez minime qui les séparait d'un autre fil. Mais, lorsque le passage du courant aura eu oxydé ces extrémités, la transmission a dû devenir de plus en plus difficile. C'est ainsi que nous expliquons que le passage de messages intelligibles ait pu d'abord avoir lieu, passage qui a dû graduellement et rapidement aller en diminuant, pour aboutir à l'impossibilité absolue de transmettre le moindre signe. »

Mais alors comment expliquer ces retours de raison dont le télégraphe transatlantique a plus d'une fois fourni l'exemple? — Ne peut-on pas admettre que la rupture a eu lieu dans des eaux peu

[1] *Quelques Mots sur la question des câbles électriques sous-marins*, par le docteur Conneau.

profondes et que, sous l'influence de causes extérieures, telles que l'agitation causée par les vents et les marées, ou par le choc d'une ancre à la traîne, les deux extrémités du conducteur se sont rejointes, sous l'armature extérieure, et ont ainsi rendu la vie au câble inanimé?

Toujours est-il qu'il résulte clairement du fragment que nous venons de citer que les câbles lourds seront un jours rejetés. Ces pesants reptiles seront dépouillés de leur carapace de fer, « qui est peut-être, comme le dit M. l'abbé Moigno, un chef-d'œuvre au point de vue mécanique, mais qui, au point de vue électrique, est un véritable monstre. » D'un poids énorme, rongée par les sels qui renferme l'eau de mer, cette carapace occasionne des ruptures et, ce qui n'est pas moins grave, donne naissance, par suite des réactions qu'elle provoque, à des courants perturbateurs.

Le lieutenant Maury, dont les patientes observations ont inspiré à M. Michelet son poétique chapitre des fleuves de la mer[1], propose une transaction : on renoncera aux câbles lourds pour les mers profondes, puisqu'au fond de ces mers, au-dessous des courants qui bouleversent la surface, règne le calme le plus parfait; et l'on réservera les cuirasses de fer pour les bas-fonds.

Quant aux câbles légers qu'on substituera « au monstre anglais, » ils ressemblent aux câbles ordinaires des navires : leur armature extérieure est en chanvre, et leur poids, relativement faible, leur permet de gagner lentement et sûrement le fond des mers.

En résumé, d'après le docteur Conneau, le câble transatlantique s'est rompu. — Malgré les excellentes raisons qu'il fait valoir pour soutenir cette thèse, MM. Heuley et Warley persistent à penser qu'il n'y a pas eu rupture. La paralysie du conducteur tient, selon eux, à des fissures qui se seraient produites dans les couches de gutta-percha. Cette hypothèse, moins séduisante que la première, est cependant admissible; car, durant l'immersion, on s'était aperçu d'un défaut de ce genre, et l'on y avait remédié par une coupure et un soudage.

M. Babinet attribue le mal à une cause toute différente. Le courant, dit-il, accumule dans les câbles une puissante charge électrique qui, s'écoulant ensuite, donne des signaux tout à fait étrangers à la dépêche... On peut donc comparer l'effet produit dans

[1] *La Mer*, par M. Michelet. L. Hachette, 1861.

cette circonstance à la confusion qui a lieu, pour la parole, dans une salle à échos très-forts. Pour s'entendre dans une pareille salle, il faudrait, avant de prononcer un mot nouveau, attendre que l'écho eût répété le mot précédent.

Dans les rangs des défenseurs de l'opinion si nettement formulée par M. Babinet, on compte le physicien célèbre que les Anglais appellent avec orgueil leur grand électricien; je veux parler de M. Faraday. — Dès 1854, ce savant étudiait les phénomènes de condensation qui font du câble télégraphique une véritable bouteille de Leyde, et prétendait qu'un câble sous-marin doit être assimilé à un vaste condensateur. La lame isolante est, disait-il, représentée par la gutta-percha qui forme l'enveloppe du fil conducteur.

Dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences le 8 octobre 1860, M. Guillemin étendit, par ses propres recherches, le cercle des résultats précédemment obtenus par M. Faraday.

« On peut déduire, dit-il, des expériences que j'ai faites quelques indications pratiques. — Le caoutchouc isole mieux et condense moins que la gutta-percha; à ce point de vue, on doit lui donner la préférence. — On diminuera la condensation et, par suite, le retard dans la transmission des signaux en augmentant l'épaisseur de l'enveloppe isolante; la charge électrique sera au contraire plus grande, si l'on augmente le diamètre du fil conducteur. Dans un câble composé de plusieurs conducteurs isolés, les effets dus à la condensation, comparables à celle qui a lieu dans les bouteilles de Leyde, sont très-intenses, et les courants d'induction, analogues à ceux des bobines, sont relativement très-faibles. Ces derniers sont évidemment nuls quand le câble ne contient qu'un seul conducteur isolé. »

Il y a, dans le mémoire de M. Guillemin, des aperçus nouveaux dont nos ingénieurs sauront tirer parti.

Il est si vrai que les conducteurs jouent le rôle de condensateurs, que le calcul donne la valeur du coefficient de charge dans les fils de petit diamètre, par exemple, dans ceux qu'on emploie pour les communications télégraphiques aériennes. C'est ce que prouve une note récente présentée à l'Académie par M. Gaugain.

Si la formule établie pour les fils aériens n'a pu être appliquée

aux conducteurs sous-marins, ce n'est pas que ceux-ci ne puissent être assimilés à de véritables bouteilles de Leyde; mais c'est que, comme l'avait déjà fait remarquer M. Guillemin, la gutta-percha possède une conductibilité fort appréciable, et donne lieu à des flux de dérivation qui s'établissent dans toute la longueur du fil.

Il devient donc indispensable d'isoler désormais la substance isolante elle-même, puisque cette substance se laisse peu à peu pénétrer par l'électricité. En effet, cette espèce d'absorption des fluides par la gutta-percha non-seulement retarde la transmission des dépêches en détournant une certaine quantité d'électricité, mais encore jette le trouble dans le langage conventionnel.

« Lorsque le circuit, dit M. Gaugain, après avoir été fermé, vient à être ouvert, la gutta-percha, qui s'est pour ainsi dire imbibée d'électricité, doit la restituer, et le récepteur doit continuer à recevoir un courant, après que la station de départ a cessé d'en envoyer. Cet inconvénient se fait sentir d'autant plus vivement que l'on opère sur des lignes plus longues. On parviendrait à le faire disparaître en appliquant sur le fil métallique une couche de vernis bien isolant qui le séparerait de la gutta-percha. »

En attendant, le câble transatlantique gît au fond de la mer, muet et inanimé.

Faut-il pour cela renoncer à relier électriquement, au moyen d'un câble unique, le nouveau monde à l'ancien? Telle n'est pas notre pensée.

Nous avons, il faut l'avouer, de redoutables adversaires. De ce nombre est l'auteur de la *Télégraphie électrique*, livre plein d'érudition, de notes précieuses, de calculs intéressants, et écrit avec une plume à la fois élégante et familière.

« En présence des effets inévitables de la condensation, dit M. Gavarret, en présence de leur influence sur la durée de l'état variable et de la décharge, il est permis de se demander si l'établissement d'une correspondance directe à travers l'océan Atlantique, au moyen d'un câble d'une seule portée, n'est pas une entreprise vaine. Les lois de propagation de l'électricité sur les conducteurs linéaires nous semblent condamner à tout jamais des tentatives de ce genre. »

Une telle affirmation serait faite pour ébranler notre foi, si le lieutenant Maury ne nous venait en aide :

« Une ligne avec un conducteur non interrompu, dit-il, est aussi praticable à travers l'Océan ou le Pacifique qu'elle l'est à travers les Alpes ou les Andes! »

Le secret consiste à combiner convenablement les câbles et à choisir une route favorable, par exemple, celle qui va de Brest à Saint-Pierre-Miquelon.

Dans tous les cas, si les moyens proposés pour relier les deux continents diffèrent, personne ne doute de la possibilité de converser un jour à travers l'Océan. — Le message de la reine d'Angleterre au président des États-Unis n'a-t-il pas déjà franchi les mers en soixante-sept minutes?

Chaque époque a ses prodiges : le moyen âge a eu la chevalerie, le grand siècle ses maîtres; c'est le tour de l'industrie. Il y a cinquante ans, nos pères faisaient leur testament avant de quitter, pour le plus court voyage, le toit de leurs ancêtres. On rit aujourd'hui de leur précaution, qui passait alors pour de la sagesse. — Que diraient les grands hommes de tous les âges si, quittant leurs tombeaux, ils venaient, pour un jour seulement, s'asseoir au banquet de la vie moderne? Quel ne serait pas leur étonnement en voyant le réseau de nos chemins de fer! De quelle vénération n'entoureraient-ils pas le génie qui a enfanté de si grandes merveilles! Mais surtout en croiraient-ils leurs oreilles quand on leur apprendrait que les mers ont resserré leurs rives, que les continents se sont rapprochés, qu'ils correspondent entre eux avec la rapidité de la pensée, et que les temps sont proches où les hommes, foulant aux pieds leurs vieilles rancunes et confondant leurs intérêts, vivront, la main dans la main, comme les membres réconciliés d'une même famille?

E. Menu de Saint-Mesmin.

II

LA PHOSPHORESCENCE

TRAVAUX DE M. EDMOND BECQUEREL

C'est par une belle soirée d'été ou d'automne, quand la fraîcheur a succédé aux ardeurs du soleil, que dans l'herbe apparaît la pâle lumière qu'émet le ver luisant; c'est ainsi qu'à coup sûr a été observé le premier phénomène de phosphorescence.

Bien d'autres animaux peuvent encore émettre de la lumière; les eaux de la mer leur doivent d'être parfois admirablement phosphorescentes; de rapides lumières brillent et s'éteignent dans le sillage du bâtiment; le sommet des vagues s'allume, étincelle, puis retombe dans l'obscurité; une vive lueur surgit encore sur la surface des eaux, puis disparaît bientôt pour faire place à cette demi-obscurité, à cette demi-lumière indéfinissable, si bien nommée la pâle clarté qui tombe des étoiles.

Les causes de la phosphorescence spontanée de certains animaux, de cette lumière analogue à celle que produit le phosphore qui se brûle lentement à l'air, sont encore inconnues, et l'auteur dont nous allons analyser les travaux ne les a pas spécialement étudiées.

Les substances minérales, les êtres bruts, peuvent aussi, dans un certain nombre de circonstances, devenir phosphorescents et émettre la lumière sans chaleur sensible.

Le spath fluor, cette belle pierre verte, violette, jaune ou blanche, veinée, que les ornemanistes emploient sous le nom de fluorine à la confection des vases, des socles de pendule, etc., est susceptible de devenir lumineuse quand on la chauffe; c'est ce qu'il est facile de démontrer en portant une plaque de tôle au-dessous du rouge naissant, et en y projetant ces path fluor grossièrement réduit en poudre.

Le quartz, ou cristal de roche, devient phosphorescent par le frottement; on peut observer aussi un faible dégagement de lumière quand on casse du sucre dans l'obscurité.

Mais de toutes les causes qui peuvent déterminer la phospho-

rescence, c'est l'illumination préalable, l'insolation qui produit le maximum d'effet ; c'est elle aussi qui paraît affecter le plus grand nombre de corps.

La propriété qu'ont certaines substances de rester lumineuses pendant quelque temps, après avoir été soumises à l'action des rayons solaires, paraît avoir été observée pour la première fois au dix-septième siècle. En 1604, on constata les effets dus au sulfure de Barium, connu sous le nom de pierre de Bologne ; en 1663, Bayle signala la phosphorescence du diamant ; puis, en 1675, Baudoin prépara un phosphore artificiel.

Toutefois l'étude de ces curieux phénomènes ne fut entreprise avec tout le soin qu'elle mérite que dans ces derniers temps par M. E. Becquerel, professeur de physique au Conservatoire impérial des arts et métiers.

Ce savant s'efforça d'abord de produire un certain nombre de phosphores artificiels, en opérant dans des conditions variées de façon à connaître l'influence de chacune d'elles.

Il trouva que la préparation par voie sèche est celle qu'il faut préférer, et il réussit bientôt à obtenir à volonté un très-grand nombre de matières susceptibles de prendre les teintes les plus variées quand elles sont soumises à l'action de la lumière.

L'observation peut se faire très-facilement de la manière suivante : la substance phosphorescente, enfermée dans un tube, est passée à travers une ouverture percée dans le volet qui rend obscur le laboratoire ; le tube, soumis pendant quelque temps à l'action de la lumière, puis rentré dans l'obscurité, rayonne d'une belle couleur jaune, verte, violette, etc.

Cette lumière est parfois assez intense pour qu'il soit possible de lire à côté du tube.

La lumière électrique, comme la lumière solaire, peut produire les effets de phosphorescence ; les phosphores artificiels, notamment les sulfures alcalino-terreux, sont influencés par cette source lumineuse. L'auditoire des cours de physique du Conservatoire a été souvent témoin de la belle expérience suivante : On dessine sur verre, avec des substances phosphorescentes dont on choisit les nuances d'après les objets à représenter, un sujet quelconque, un bouquet de fleurs, par exemple. Pour exécuter l'opération, on découpe le modèle en papier, on l'applique sur le

verre, on gomme les espaces occupés et on les saupoudre des matières réduites en poudre. (Ce tableau encadré, gardé à l'abri de l'humidité, peut se conserver indéfiniment.) Fortement éclairé préalablement par les rayons solaires ou les rayons électriques, chaque phosphore luira ensuite avec sa nuance propre, et ce tableau produira au milieu de l'obscurité l'effet le plus saisissant.

Pour observer les effets de la lumière électrique sur les phosphores, on peut adopter la disposition suivante due à M. Edmond Becquerel : On renferme les substances, réduites grossièrement en poudre, dans des tubes susceptibles de garder le vide; aux extrémités de chaque tube deux fils de platine sont fixés; un support reçoit à la fois quatre d'entre eux, rangés au-dessus l'un de l'autre, et une même étincelle, provenant d'une forte bobine d'induction de Rumhkorf, les traverse et les illumine en même temps ; si on interrompt la décharge, les substances restent phosphorescentes avec une grande intensité.

Il semblerait au premier abord que la lumière qu'émet un corps doit dépendre de sa composition chimique même, et que, s'il donne une nuance rouge, verte ou bleue, il doit la donner toujours ; il n'en est pas ainsi cependant ; la teinte dont brille un phosphore varie avec son *état moléculaire*, avec l'arrangement intime de ses atomes, et c'est là à coup sûr un des points les plus intéressants de ces belles recherches.

« Pour ne citer qu'un fait parmi tous ceux que j'ai observés, dit M. E. Becquerel, je dirai que le soufre et la strontiane anhydre en proportions nécessaires pour donner le monosulfure, étant mis en présence à une température inférieure à 500 degrés, c'est-à-dire inférieure à la température rouge et jusqu'à ce que la réaction ait eu lieu, donnent une matière émettant une lueur jaune après l'action de la lumière diffuse ou solaire ; si la température est portée à 7 ou 800 degrés, même pendant très-peu d'instants, la masse, sans changer de composition, acquiert plus de compacité, et émet une lumière violette après l'influence préalable du rayonnement lumineux. Si on traite par l'eau l'une et l'autre de ces préparations, qu'on évapore les parties solubles, et qu'on les chauffe de nouveau vers 7 ou 800 degrés, on obtient des deux résidus des lueurs vertes, comme de tous les résidus provenant de l'évaporation des dissolutions de sulfure de strontium dans l'eau. Ainsi, dans ce dernier cas, l'arrangement moléculaire,

autre que celui des préparations précédentes, est seul cause des différences observées. »

Cet arrangement moléculaire est si variable, qu'une même substance peut donner, à la volonté de l'opérateur, une des couleurs quelconques du spectre solaire.

Sous l'influence de la chaleur, le sulfure de strontium, par exemple, peut être affecté de façon à produire les couleurs les plus différentes : Tandis qu'à 20 degrés, ce phosphore, soumis à l'insolation, émet une vive couleur violet foncé, il devient à +20 degrés d'un violet plus bleu; il passe au bleu clair quand on l'a chauffé à 40 degrés ; il devient légèrement verdâtre à 70 degrés, jaune verdâtre à 90, jaune à 100, pour être enfin orangé quand la température monte jusqu'à 200 degrés.

L'importance de cette étude est d'autant plus grande qu'elle peut nous révéler certains faits relatifs à la constitution intime des corps, que nous connaissons si peu.

Les minéralogistes nous ont appris déjà que, bien qu'une même substance chimique se présente le plus habituellement avec la même forme, tellement que celle-ci devient un caractère pour reconnaître les minéraux, il peut arriver cependant que deux matières identiques, au point de vue chimique, se trouvent sous deux formes complétement différentes, et qui ne peuvent jamais par des modifications simples se fondre l'une dans l'autre.

Ce phénomène, connu sous le nom de dimorphisme, se présente notamment pour le soufre et pour le carbonate de chaux. Les aiguilles de soufre obtenues après la fusion ignée n'ont pas la même forme géométrique que le soufre cristallisé après dissolution dans le sulfure de carbone.

Le carbonate de chaux se rencontre dans la nature sous forme de grosses masses transparentes, cristallisées en rhomboèdres; on le trouve encore ayant la forme du prisme droit. Dans le premier cas, on lui donne le nom de spath d'Islande; dans le second, celui d'aragonite.

Il faut bien admettre que dans ces deux matières les molécules sont groupées autrement, puisqu'elles affectent des formes si différentes. Cet arrangement moléculaire est même bien plus différent qu'on ne l'avait cru jusqu'ici, et le groupement spécial de chacune de ces molécules est plus stable, plus permanent qu'on ne l'avait supposé.

« Les effets lumineux, dit M. E. Becquerel, tiennent à un arrangement moléculaire autre que celui duquel dépend la cristallisation ; c'est ce qu'on prouve en étudiant le spath d'Islande et l'aragonite. Bien que de même composition, ces deux substances n'offrent pas les mêmes effets : le premier n'est pas, en général, lumineux dans les conditions ordinaires ; mais, en se servant du procédé qui sera indiqué plus loin, on trouve qu'il émet des rayons rouge orangé ; l'aragonite, au contraire, est assez vivement lumineuse après l'action solaire, et donne une émission de rayons verts. Or, si l'on élève la température de l'aragonite, bien qu'elle se brise, et qu'on admette qu'elle se transforme en petits cristaux spathiques, la matière conserve la propriété d'émettre une lumière d'une même teinte qu'avant toute élévation de température, et ne donne pas de lumière rouge orangé comme le spath d'Islande. »

On peut même aller plus loin, engager les deux carbonates dans des combinaisons, les transformer en sulfures et leur voir conserver une différence d'action trahissant leur différence d'origine.

En calcinant le spath d'Islande avec du soufre, on obtient un sulfure phosphorescent *jaune;* en calcinant l'aragonite avec du soufre dans les mêmes circonstances, le sulfure lumineux est *vert;* il est *bleu indigo*, s'il provient de l'action à chaud du persulfure de potassium sur le carbonate de chaux des coquilles d'huître ; il est *violet* enfin, si l'on traite par le soufre le carbonate de chaux obtenu, en précipitant l'eau de chaux par un courant d'acide carbonique.

Ainsi, il faut le répéter, la lumière émise par un corps ne dépend pas de sa composition chimique ; elle ne dépend même pas de cet arrangement moléculaire trahi par la forme cristalline; elle paraît due à un arrangement plus intime, à la forme même, pour ainsi dire, des atomes, car elle reste différente dans deux corps identiques quant à la composition, mais obtenus de deux substances originellement diverses.

Le talent dans les sciences d'observation consiste à trouver de nouveaux modes d'interrogation de la nature, à lui poser de nouvelles questions pour qu'elle dévoile un des mystères qu'elle tient encore cachés ; toutes les fois qu'on inventera un de ces nouveaux systèmes d'interrogation, on pourra être certain de pénétrer plus

avant dans la connaissance intime de la nature des choses, et c'est ce qu'a fait M. E. Becquerel.

Ses recherches sont d'une rare élégance. Qui es-tu? dit-il à un de ses produits; êtes-vous frères ou cousins? peut-il dire encore, et les tubes de s'éclairer, d'arborer les mêmes couleurs ou des nuances diverses, suivant que leur nature intime, la structure de leurs molécules, est identique ou différente.

Les recherches qui pénètrent si avant dans la constitution des corps prennent chaque jour une nouvelle importance; depuis les travaux d'Arago, de MM. Biot et Pasteur, l'étude de la lumière polarisée est venue apporter les renseignements les plus précieux sur la nature intime des corps; les travaux de M. E. Becquerel semblent ouvrir une nouvelle voie dans le même ordre de recherches.

Il ne faudrait pas croire que le nombre des substances phosphorescentes soit très-limité; il est, au contraire, très-considérable, et on peut s'en assurer facilement à l'aide d'un appareil ingénieux dû à M. E. Becquerel.

Si le nombre des substances phosphorescentes a été considéré comme très-faible jusqu'à ces derniers temps, la cause en est que la plupart des corps ne restent lumineux que pendant un temps très-court, trop court pour qu'on puisse le percevoir sans le secours d'un instrument spécial; mais supposons qu'il soit possible d'insoler une matière, puis de l'observer immédiatement après, sans que la lumière directe puisse cependant arriver jusqu'à l'œil de l'observateur, et un grand nombre de substances deviendront phosphorescentes.

Le phosphoroscope de M. E. Becquerel est d'une construction très-simple et facile à saisir; entre deux écrans, plaçons un tube renfermant une matière impressionnable; puis, perçons nos deux écrans, de telle sorte que les trous ne soient pas en face l'un de l'autre, mais qu'ils soient disposés de telle sorte que, les deux écrans étant animés d'un mouvement de rotation rapide, un des trous soit en face de la source lumineuse, quand une partie opaque sera devant l'œil de l'observateur, et qu'au contraire un vide passe devant l'œil quand un plein sera en face de la lumière.

L'observateur ne pourra jamais voir la lumière directe, mais il pourra voir le tube l'instant d'après son insolation, et saisir le

phénomène de phosphorescence, quand même il s'éteindrait avec une grande rapidité.

Si nous supposons que nos deux écrans soient des disques percés de trous et animés d'un rapide mouvement de rotation, comme la rétine reste impressionnée pendant un temps appréciable, on comprend qu'une sensation ne soit pas éteinte quand une autre commencera, et que, malgré la succession d'espaces opaques qui passe devant l'œil, la vision du phénomène soit continue.

Dans le premier appareil qu'il a construit, M. E. Becquerel peut voir un corps $\frac{1}{2000}$ de seconde après le moment qu'il a été insolé, et le nombre des substances phosphorescentes pendant ces temps très-courts s'est considérablement accru.

Ce sont les composés d'uranium, ce métal intéressant, étudié il y a déjà quelques années par M. E. Peligot, qui présentent le plus bel effet dans le phosphoroscope; ils brillent d'une teinte verte très-vive, quand l'observateur peut les voir de trois à quatre centièmes de seconde après l'action lumineuse; mais ils offrent le maximum de lumière quand ce temps n'est que de trois à quatre millièmes de seconde.

On n'a pas pu observer directement la propriété phosphorescente dans les liquides, bien qu'ils offrent certains effets de coloration continue, connue sous le nom de *fluorescence*, quand ils sont traversés par une série d'étincelles d'*induction;* mais on a rencontré un gaz phosphorescent, c'est l'oxygène. Il est curieux de voir ce gaz, si profondément modifié par l'électricité, se distinguer encore des autres fluides aériformes par la manière dont il est impressionné par la lumière.

On avait autrefois attribué à une modification produite au moment de la réflexion les phénomènes de phosphorescence; mais, comme les matières les plus lumineuses dans le phosphoroscope sont précisément celles qui sont fluorescentes, il est naturel de considérer cette dernière propriété comme due aux actions lumineuses si bien étudiées par M. E. Becquerel.

Quoi qu'il en soit, la liste des substances solides phosphorescentes est aujourd'hui tellement étendue, qu'on est en droit de conclure que tous les corps seraient lumineux dans le phosphoroscope, si l'on pouvait parvenir à réduire suffisamment ce laps de temps qui sépare l'insolation de la rentrée dans l'obscurité. Ce résultat est d'une importance énorme, puisqu'il entraîne avec

lui l'énoncé de cette loi : « La phosphorescence est une propriété générale de la matière. »

La lumière et la chaleur paraissent tellement unies, qu'on est toujours étonné quand on rencontre des substances lumineuses, qui en même temps n'accusent aucune élévation de température.

On ne peut pas affirmer, dans le cas qui nous occupe, qu'il n'y ait, en effet, aucune production de chaleur, car les moyens dont nous disposons pour percevoir la chaleur sont bien moins délicats que l'œil, ce merveilleux instrument, capable d'apprécier les quantités si infiniment petites de lumière, et de noter les nuances les plus fugaces.

Nos sens, quand ils sont exercés, sont d'admirables instruments de recherche; l'oreille d'un musicien est capable d'apprécier le nombre de vibrations d'un son beaucoup mieux que nos instruments; le palais d'un dégustateur est plus sensible que nos réactifs; l'œil perçoit les sensations mieux que les matières les plus impressionnables à la lumière; mais il n'en est plus de même du toucher auquel correspond la sensation de chaleur. Il est d'autant plus obtus, au reste, qu'il est moins habitué à comparer des sensations de l'ordre de celles qui pourraient produire la phosphorescence calorifique.

Ainsi, on ne perçoit pas de chaleur dans les phénomènes de phosphorescence, mais il n'est pas démontré qu'il ne s'en produise pas; il est possible que, si les études étaient tournées dans ce sens, on pût trouver qu'un corps phosphorescent peut émettre, ainsi que de la lumière, de la chaleur pendant un certain temps; c'est ce que le délicat instrument de Melloni, la pile thermoélectrique, pourrait peut-être déceler.

Nous voyons, en résumé, que M. E. Becquerel est arrivé à créer, pour ainsi dire, un nouveau chapitre de la physique à peine entrevu avant lui. On savait que quelques corps sont susceptibles de rester lumineux dans l'obscurité après avoir été insolés; il a considérablement généralisé le phénomène, l'a étudié avec grand soin, a reconnu l'influence des diverses causes qui peuvent faire varier les effets; enfin, il a dans ces derniers temps mis la dernière main à son travail en publiant un quatrième mémoire, dans lequel il établit que les phénomènes d'absorption et d'émission lumineuses sont régis par les mêmes lois que les phé-

nomènes d'absorption et d'émission calorifiques ; nouveau rapprochement fécond entre ces deux grands agents, qui, mieux connus, finiront sans doute par se confondre.

On sait que pendant longtemps les physiciens ont discuté sur la cause de la lumière. Deux hypothèses étaient en présence ; dans l'une, dite de l'*émission*, on voulait que la lumière fût une sorte de matière lancée à travers l'espace du corps lumineux jusqu'à l'objet éclairé ; l'autre hypothèse pensait, au contraire, que la lumière consistait en une série de vibrations se communiquant du corps lumineux jusqu'au corps éclairé.

Les partisans de la théorie de l'émission, qui fut surtout défendue par Newton, trouvaient dans les expériences de phosphorescence des faits à l'appui de leur hypothèse. La lumière, disait-il, est bien certainement une matière qui peut s'emmagasiner dans les corps, puis s'en échapper plus ou moins rapidement, et produire par conséquent une sensation lumineuse qui va s'affaiblissant.

La théorie des ondulations n'explique pas moins bien le phénomène ; mais, pour la bien saisir, il faut remonter un peu plus haut, et bien comprendre comment on a été conduit à établir des relations remarquables entre les phénomènes sonores et les phénomènes lumineux.

Comment se produisent les sons? comment se propagent-ils pour venir impressionner l'organe de l'ouïe?

Un son résulte d'ébranlements moléculaires, nommés vibrations, qui sont produits dans un corps par une action mécanique ou physique ; ces vibrations ont plus ou moins d'amplitude ; c'est ce qui constitue l'intensité du son. Elles sont plus ou moins nombreuses ; c'est ce qui caractérise le son en en déterminant la hauteur : ainsi on connaît le degré d'acuïté d'un son quand on a mesuré le nombre des vibrations qui l'engendrent. Il est généralement admis aujourd'hui que la chaleur ne prend pas naissance autrement dans les corps ; tout mouvement moléculaire se traduit immédiatement dans un corps par une élévation de température, et la température s'élève avec la rapidité du mouvement ; une certaine limite atteinte, le phénomène de lumière commence à se manifester, et devient de plus en plus intense à mesure que la chaleur augmente, c'est-à-dire à mesure que s'accroît la rapidité du mouvement vibratoire, lequel peut être déterminé par une

action mécanique, physique ou chimique. L'air sert à la transmission des ondulations sonores, et ne produit la sensation du son que lorsqu'il vibre sous l'influence des corps sonores. A cause de leur nombre considérable et de leur rapidité de propagation dans le vide comme dans les corps, il faut aux vibrations calorifiques une substance bien plus subtile, bien plus élastique que l'air pour se propager. Cette substance inerte, impondérable, éminemment élastique et subtile, se nomme *éther ;* elle remplit les vides des espaces célestes, ainsi que les pores de la matière. L'éther propage les ondes calorifiques comme l'air propage les ondes sonores; il ne produit la sensation de la chaleur que lorsqu'il est mis en vibration par les corps calorifiques. Puisque, lorsque la chaleur devient suffisamment intense dans un corps, il devient lumineux, il faut donc reconnaître que la lumière résulte, comme la chaleur, comme le son, d'un mouvement vibratoire produit dans les corps, mais qu'elle ne commence à se révéler qu'à partir d'une certaine vitesse dans le mouvement vibratoire.

L'intensité lumineuse, comme l'intensité du son, comme l'intensité calorifique, dépend de l'amplitude des vibrations, et sa nuance, comme la nature du son, dépend de la rapidité du mouvement vibratoire; c'est cette dernière relation qui ressort surtout des expériences que M. E. Becquerel a faites avec le phosphoroscope. Il y a certains corps, certains échantillons de spath d'Islande, de spath fluor, de carbonate de strontiane, qu'il a pu influencer de manière à leur faire produire des lumières de différentes nuances, comme on peut faire rendre plusieurs sons à une même corde. Les expériences de M. E. Becquerel viennent, avons-nous dit, à l'appui de la pensée de rapporter à la même cause qui produit le son les phénomènes de chaleur et de lumière. En effet, si une même cause, le mouvement vibratoire, engendre le son, la chaleur, la lumière, il faut nécessairement que la lumière fasse naître la lumière dans d'autres corps, comme la chaleur engendre la chaleur, comme le son communique aux corps la faculté de devenir sonores; or, dans ce dernier cas, ce sont les vibrations qui se communiquent par l'air ou tout autre intermédiaire. Pour la chaleur, on admet l'éther comme moyen de transmission des vibrations calorifiques. Si cela est, il faut qu'il en soit de même pour les vibrations lumineuses, c'est-à-dire qu'un corps lumineux puisse faire naître cette faculté chez d'autres

corps; or c'est ce qui n'avait jamais été prouvé. On voit donc qu'indépendamment de l'intérêt que la beauté des expériences donne aux recherches de M. E. Becquerel, elles présentent un grand intérêt théorique; elles prouvent une fois de plus la probabilité de l'existence de l'éther, c'est-à-dire qu'elles donnent un appui nouveau à la pensée généralisatrice qui veut attribuer à une même cause le mouvement vibratoire, la chaleur, la lumière et l'électricité.

Ernest Saint-Edme.

CHIMIE

I

LA SYNTHÈSE EN CHIMIE ORGANIQUE

M. BERTHELOT [1]

Qu'on jette les yeux sur une toile représentant le laboratoire d'un alchimiste, on la trouvera presque invariablement composée de la même manière.

La salle est obscure, humide, un grand crocodile bâille au plafond ; entre les solives, les toiles d'araignée, toutes grises de poussière, forment un réseau impénétrable. Sur les tablettes fixées au mur, des flacons poudreux laissent apparaître des liqueurs bleues ou rouges.

Des débris de verrerie jonchent le sol, un gros fourneau occupe un des côtés du laboratoire, un alambic à la forme bizarre s'y chauffe au feu qui brille à travers les briques disjointes.

Le vieux maître enfin, assis dans son fauteuil, consulte un grand in-folio auquel les rats ont fait de nombreux emprunts ; tandis qu'un de ses aides broie à grand renfort de pilon une dure matière dans un mortier, un autre manie un soufflet poussif dont la buse s'engage dans la porte du fourneau.

Le fourneau, c'est l'appareil essentiel, il a la meilleure place et tout lui est subordonné ; il joue dans l'ancien laboratoire le rôle le plus important ; le peintre l'a mis au premier plan et a bien fait, car les alchimistes ont été les plus grands souffleurs du monde.

[1] *Chimie organique fondée sur la synthèse*, par Marcelin Berthelot, professeur de chimie organique à l'École de pharmacie. Mallet-Bachelier, 2 volumes, 1860.

Ils étaient logiques! Placés devant l'immense variété des matières que présente la nature, ils ont dû, pour arriver à la connaître, employer d'abord les procédés de destruction les plus énergiques, le feu par conséquent. Ils travaillaient surtout, au reste, la chimie des métaux, qui se prête merveilleusement à l'emploi de ces méthodes violentes; ils fondaient, calcinaient, et sont arrivés ainsi à des résultats précieux.

Les mêmes procédés, appliqués aux substances qui viennent de l'organisme végétal ou animal, leur donnèrent aussi quelques produits d'un haut intérêt, notamment l'alcool. Encouragés par ces premiers succès, les alchimistes systématisèrent ces moyens violents de calcination et de distillation, quand, lassés des tentatives si longtemps répétées de la préparation artificiellede l'or, ils donnèrent à leurs études un but plus élevé et entreprirent des recherches non plus pour satisfaire leur cupidité, mais dans le noble but d'étendre les connaissances de tous.

« En procédant [1] par cette voie à la suite de travaux et d'analyses poursuivis avec soin pendant bien des années, on reconnut, non sans surprise, que toutes les substances végétales, soumises à la distillation, fournissent les mêmes produits généraux : de l'eau, de l'huile, du phlegme, de la terre [2]; les substances animales donnent naissance aux mêmes produits, et de plus à l'alcali volatil. Cette identité des matières fournies par l'analyse d'êtres si divers frappa d'étonnement l'esprit des chimistes. Le froment et la ciguë, par exemple, « l'aliment et le poison, » donnent naissance aux mêmes produits généraux, et ces produits n'ont, pour ainsi dire, rien de commun avec les substances qui les ont fournis. En présence de résultats aussi éloignés du point de départ, il fallut bien se résigner à reconnaître que les moyens d'analyse mis en œuvre avaient dénaturé les matières naturelles. Les corps obtenus dans cette analyse étaient évidemment des substances de nouvelle formation; et il demeura prouvé que la distillation ne sépare point en général les principes végétaux, dans leur état premier, mais que, le plus souvent, elle les détruit et les décompose. »

Il fallut donc rechercher d'autres procédés moins grossiers et

[1] Berthelot, *Chimie organique fondée sur la synthèse*, t. I, p. xxxix.

[2] C'est-à-dire du charbon, confondu avec la terre dans le langage de cette époque.

incapables de détruire ce qu'on voulait séparer et étudier. Mais un être organisé est éminemment complexe, et les opérations qu'il est nécessaire d'effectuer pour arriver à le connaître sont très-variées, et l'analyse de ses différentes parties très-délicate. Pour comprendre nettement quelles peuvent être les méthodes employées, « commençons par soumettre à nos expériences une matière minérale, le granit, par exemple. On reconnaît à première vue que le granit est formé par l'assemblage de trois substances distinctes et juxtaposées, savoir : une matière cristalline, blanche et opaque, désignée sous le nom de feldspath, des paillettes brillantes et feuilletées, formées par le mica, enfin de grosses aiguilles hexagonales, dures et transparentes, c'est le quartz ou cristal de roche. Ces trois substances peuvent être séparées les unes des autres à l'aide de procédés mécaniques, qui détruisent l'assemblage sans faire subir aucune altération chimique aux corps qui le constituent. En procédant ainsi, on obtient chacun de ces derniers avec des propriétés constantes et définies. Le genre de séparation mis en œuvre constitue l'analyse immédiate ; les produits auxquels elle donne naissance sont tels, que leur simple mélange représente la matière minérale primitive. C'est le premier degré dans l'ordre des études analytiques.

« Si l'on veut pousser plus avant, aussitôt se présente un nouveau problème, d'un genre tout à fait différent du premier : il s'agit maintenant de décomposer complétement le quartz, le mica, le feldspath, et de résoudre ces corps dans leurs éléments. C'est à quoi on parvient en soumettant chacun de ces corps à des actions nouvelles capables de les détruire. Le quartz se résout en deux éléments, savoir : un gaz contenu dans l'atmosphère, l'oxygène et une substance solide, fixe, cristalline et noirâtre, le silicium ; de son côté, le feldspath se décompose d'abord en silice, en potasse, en alumine ; puis la potasse fournit un gaz, l'oxygène, et un métal, le potassium ; l'alumine fournit un gaz, l'oxygène, et un autre métal, l'aluminium ; la silice enfin fournit de l'oxygène et du silicium. Tel est le terme extrême de l'analyse dans l'état présent de nos connaissances chimiques. »

« .... Appliquons les mêmes idées à l'analyse chimique des êtres organisés. Examinons un fruit, un citron, par exemple. Cette ma-

[1] Berthelot, *ibid.*, t. I, p. XII.

tière n'est pas simple ; de même que le granit, le citron est un agrégat. Ici encore l'analyse procède par phases successives. Exprimons d'abord le citron, nous obtiendrons deux matières nouvelles : l'une liquide, douée d'un goût acide et sucré, c'est le jus du fruit ; l'autre solide et odorante; c'est l'enveloppe du fruit. Étudions-les séparément. En soumettant la partie liquide à l'analyse, de façon à isoler les matières qu'elle renferme, sans cependant leur faire éprouver d'altération, nous la résoudrons dans un certain nombre de matériaux primitifs ou *principes immédiats*, tels que l'acide citrique, auquel est due la saveur acide ; le sucre de raisin et le sucre de canne, dans lesquels réside le goût sucré; une substance analogue à l'albumine, des sels, etc. ; enfin de l'eau, qui tient en dissolution les matières précédentes. L'acide citrique, le sucre de raisin, le sucre de canne, etc., en un mot chacun des corps isolés par cette première analyse, est doué de propriétés constantes et définies ; on ne saurait le séparer en plusieurs substances nouvelles sans faire disparaître toutes ses propriétés.

« L'enveloppe, soumise à une analyse semblable, se résout également en plusieurs matières distinctes, savoir : une huile volatile et essentielle, qui communique au fruit son odeur pénétrante ; un principe jaune, soluble dans l'éther, et qui colore le citron ; une matière ligneuse, dont la masse représente la presque totalité de l'enveloppe, etc. Chacun de ces principes possède encore des propriétés constantes et définies, correspondantes à celles de l'ensemble dont il résulte. C'est l'assemblage des matériaux que l'analyse sépare du jus du citron et de son enveloppe, c'est-à-dire l'acide citrique, le sucre de raisin, l'eau, l'essence de citron, le ligneux, etc., c'est cet assemblage, dis-je, qui constitue le fruit primitif... En les isolant, l'analyse atteint son premier terme.

« C'est alors qu'elle vient à attaquer le second problème posé tout à l'heure pour le quartz et le feldspath, c'est-à-dire qu'elle entreprend de décomposer les principes immédiats eux-mêmes, et de rechercher quels sont les éléments qui les constituent. L'analyse résout aisément cette seconde question : elle établit que l'essence de citron renferme deux éléments, le carbone et l'hydrogène ; que les sucres et l'acide citrique en contiennent trois, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène ; enfin, que la matière albumineuse est formée de quatre éléments, le carbone, l'hydrogène,

l'oxygène et l'azote. Tels sont, en définitive, les éléments fondamentaux des matières organiques contenues dans le citron que nous avons examiné. Dans l'étude de ce fruit, ils marquent le terme extrême de l'analyse chimique. »

Ces idées exactes sur ces principes immédiats, qu'il s'agissait d'abord d'isoler, ne se précisèrent que lentement dans l'esprit des savants. Dans cette voie, l'industrie précéda la science, et on savait extraire la gomme, l'amidon, les résines, avant d'avoir systématisé dans le laboratoire le mode d'opération qu'exigent ces extractions.

Au dix-huitième siècle, Rouelle le Jeune, d'abord, puis Schèele, le grand chimiste suédois, contribuèrent plus que tous les autres à fixer la nature des principes immédiats, et à préconiser les méthodes à l'aide desquelles on peut les extraire ; Schèele surtout prêcha d'exemple et caractérisa un grand nombre de principes organiques dont la véritable nature était encore mal connue. Au commencement de ce siècle, enfin, M. Chevreul formula, dans ses *Recherches sur les corps gras*, les préceptes véritables sur lesquels repose cette science difficile entre toutes, l'analyse immédiate en chimie organique. L'emploi des dissolvants neutres, tels que l'eau, l'alcool, l'éther; la pression, les actions des alcalis ou des acides étendus, lui permit d'éclairer de la plus vive lumière toute une partie de la science que personne n'avait jusqu'alors abordée avec succès, tant l'entreprise était ardue et exigeait de sagacité, de finesse et de persévérance.

On était bien loin, on le voit, dans cette partie de l'analyse des composés organiques, des procédés violents des alchimistes ; on devait les reprendre pourtant dans la seconde partie de cette analyse, quand il fallut détruire les principes immédiats isolés, afin de trouver les éléments simples qu'ils renferment. Le charbon et l'hydrogène s'y rencontrent toujours, l'oxygène très-souvent, l'azote y est fréquent, enfin on y trouve encore du soufre, mais beaucoup plus rarement. L'invention des méthodes propres à déterminer les poids suivant lesquels ces éléments sont réunis est due à Berzélius; elles ont été perfectionnées successivement, et les chimistes les plus habiles se sont efforcés de rendre ces procédés faciles, sûrs, commodes. MM. Gay-Lussac, Dumas, Liebig, Will et Warentrapp, Péligot, ont surtout, dans cette partie de la science, rendu les plus éminents services.

La chimie organique entra dès lors dans une voie éminemment analytique; on prit toutes les parties des végétaux ou des animaux; on y chercha des principes immédiats dont on détermina ensuite la composition, et un grand nombre de substances très-intéressantes furent ainsi caractérisées. On soumit en même temps ces produits d'origine organique aux réactions puissantes habituelles à la chimie minérale, et bientôt le nombre des substances artificielles provenant comme source première des êtres vivants fut beaucoup plus considérable que celui des principes qu'on avait rencontrés dans ceux-ci.

En général, toutes ces substances nouvelles provenaient d'une simplification de matières complexes, offertes par l'organisme. C'est ainsi que l'acide stéarique, qui entre dans la constitution des bougies, soumis à des actions oxydantes, se transforme en plusieurs acides moins riches en carbone, tels que l'acide formique qui existe dans les fourmis, et auxquels les orties doivent leurs propriétés irritantes, tels que l'acide acétique ou vinaigre.

La marche analytique était exclusivement suivie dans les recherches, et, par conséquent aussi, dans l'enseignement. Gerhardt indiquait dans son traité que « le chimiste fait tout l'opposé de la nature vivante, qu'il brûle, détruit, opère par analyse, tandis que la force vitale seule opère par synthèse, qu'elle reconstruit l'édifice abattu par les forces chimiques. »

En chimie organique donc surtout, on pouvait appliquer la définition que Lavoisier avait donnée de la science où il avait laissé une trace immortelle. « La chimie, disait-il, en soumettant à des expériences les différents corps de la nature, a pour objet de les décomposer et de se mettre en état d'examiner séparément les différentes substances qui entrent dans leurs combinaisons... La chimie marche donc vers son but et vers sa perfection en divisant, subdivisant et resubdivisant encore... » On pourrait, d'après cette définition, nommer la chimie la science de l'analyse.

Jusqu'alors, on le voit, le chimiste gardait encore un peu de ses habitudes anciennes ; c'était avant tout un destructeur; comme un enfant qui casse un jouet pour voir ce *qu'il y a dedans*, mais ne sait plus ensuite remettre en place ses différentes parties pour s'en amuser de nouveau, de même le chimiste, assez adroit pour isoler une essence d'une fleur, pour détruire enfin cette essence et indiquer sûrement sa constitution, était complétement impuissant à

refaire le parfum détruit ; il ne prévoyait même pas que cela fût jamais possible.

Berzélius, en effet, s'exprimait ainsi : « Quand même nous parviendrions avec le temps à produire, avec des corps inorganiques, plusieurs substances d'une composition analogue à celle des produits organiques, cette imitation incomplète est trop restreinte pour que nous puissions espérer produire des corps organiques, comme nous réussissons, dans la plupart des cas, à confirmer l'analyse des corps inorganiques, en faisant leur synthèse. »

Un remarquable exemple de synthèse avait été donné cependant depuis plusieurs années par M. Liebig, qui était parvenu à reproduire artificiellement l'*urée*, cette matière blanche et cristalline qui existe dans l'urine fraîche. Le chimiste de Munich employait à cette préparation le cyanate de potasse et le sulfate d'ammoniaque; or les chimistes savent faire le cyanogène en unissant directement le charbon à l'azote, et produisent l'ammoniaque avec ses éléments dans un grand nombre de réactions, notamment en attaquant l'acide azotique par l'hydrogène naissant. Il est donc certain que l'urée a été faite avec les éléments depuis fort longtemps ; et c'est là un des plus beaux titres de gloire du baron de Liebig, mais il faut reconnaître cependant que ce savant ne s'était pas engagé résolûment dans une série de recherches ayant pour but de refaire les substances organiques avec les éléments.

« Bref (peut-on donc dire avec M. Berthelot), les exemples de synthèse étaient jusqu'ici si rares, tellement isolés et si peu féconds, que la plupart des esprits étaient portés à regarder comme chimérique toute espérance de refaire, d'une manière générale, les substances organiques au moyen des corps simples qui les constituent. Quelles que fussent les opinions spéculatives sur ce sujet, aucun alcool n'avait été produit expérimentalement au moyen d'un carbure d'hydrogène, aucun carbure n'avait été formé avec les éléments. En envisageant l'extrême mobilité des composés organiques, leur physionomie particulière, la facilité avec laquelle les forces les plus faibles opèrent leur destruction, plusieurs chimistes continuaient même à penser que leur formation au sein des organismes vivants dépendait « de l'action mystérieuse de la force vitale, action opposée, en lutte continuelle avec celle que nous sommes habitués à regarder comme la cause des phénomènes chimiques ordinaires. »

Le problème, de faire avec les éléments les principes qui existent dans l'organisme, avait donc un immense intérêt, au point de vue de la philosophie générale. « Les forces chimiques que nous avons habituellement à notre disposition, à qui nous voyons produire des phénomènes de combustion, de réduction, ou, au contraire, de complications moléculaires que nous avons chaque jour sous les yeux, sont-elles les mêmes que celles qui déterminent la formation du sucre dans la betterave, de l'acide tartrique dans le raisin, etc.? » La puissance de l'homme, arrêtée jusqu'alors devant la production artificielle de ces matières, au moyen des éléments, allait-elle pouvoir triompher de cet obstacle?

On n'avait pas, à coup sûr, l'idée de chercher à reproduire les organes dans lesquels réside la vie; on ne pouvait penser à constituer, de toutes pièces, ni une cellule, ni un vaisseau, ni un muscle; mais on voulut essayer de faire artificiellement les produits que renferment ces cellules et qui cheminent à travers ces vaisseaux.

Ce fut cette mission que s'adjugea, presque au début de sa carrière, un jeune chimiste qui occupait alors la modeste position de préparateur au Collége de France. M. Berthelot n'avait publié encore que quelques mémoires intéressants, quand il commença vers 1854 la longue série de ses travaux de chimie organique.

Du premier coup il annonçait un maître. Doué d'une puissance de travail incroyable, d'un rare sens chimique, M. Berthelot ne voulut appartenir à aucune école et ne procéda, pour ainsi dire, que de lui-même ; il chercha une grande question à résoudre dans le domaine de la chimie et entreprit de refaire la synthèse d'un grand nombre de composés organiques. Pour son début, il s'attaqua audacieusement à une question éminemment complexe et encore imparfaitement connue, malgré les beaux travaux de M. Chevreul : il étudia les corps gras, non plus, comme on l'avait fait jusqu'à lui, en s'efforçant de séparer de ces principes les différents composés qu'ils renferment, mais en prenant les substances composées qui les forment, et en cherchant à les unir de nouveau, en faisant leur synthèse. La question s'éclaira subitement, et M. Berthelot y déposa le germe de plusieurs découvertes importantes,

Pendant six ans, il ne se lassa point ; remplissant les *Annales de chimie et de physique* de ses mémoires, il annonça successivement la réussite de nouvelles expériences de synthèse, la découverte de

composés nouveaux, l'étude de substances encore mal connues; c'est l'ensemble de ses travaux qu'il a résumé dans la *Chimie organique fondée sur la synthèse.*

Avant de chercher à faire comprendre au lecteur le grand mérite de cet ouvrage, il convient d'indiquer, en quelques mots, les procédés qu'a employés M. Berthelot pour arriver à résoudre l'important problème qu'il s'était posé.

Ainsi que nous l'avons vu, les matières organiques sont formées de charbon, d'oxygène et d'hydrogène, auxquels l'azote s'associe parfois. Ce sont ces éléments qu'il s'agit de combiner de façon à obtenir les produits qui se trouvent dans l'organisme végétal ou qui en dérivent facilement.

Une des premières synthèses qu'exécuta M. Berthelot et qui servit de base à ses recherches ultérieures fut celle de l'acide formique, substance très-analogue au vinaigre, qui, ainsi que nous l'avons vu, existe dans les fourmis, auxquelles il doit son nom.

L'acide formique est formé de charbon, d'oxygène et d'hydrogène. On peut encore le considérer comme résultant de l'union de l'eau (oxygène et hydrogène) avec l'oxyde de carbone, ce gaz vénéneux qui brûle avec une flamme bleue au-dessus d'un feu de charbon encore mal allumé.

C'est, en effet, en s'efforçant d'unir l'oxyde de carbone et l'eau, que M. Berthelot a réalisé dans son laboratoire la production de l'acide formique que jusqu'alors les chimistes n'avaient pas su produire avec les éléments. Comment y arriver? L'oxyde de carbone est un gaz, l'eau un liquide : il faudra les enfermer ensemble; mais, s'ils sont seuls, ils ne s'unissent pas, l'intervention d'un troisième corps est nécessaire pour déterminer l'alliance, la soudure de ces deux composés. Quel corps prendre? Une substance capable de se combiner avec l'acide formique une fois qu'il sera formé, la potasse. C'est là un fait dont les chimistes rencontrent de nombreux exemples : deux corps sont indifférents et ne s'unissent nullement l'un à l'autre, mettez en face d'eux une substance pour laquelle aura de l'affinité la matière résultant de l'union des deux corps primitifs, et cette union aura lieu.

On réunit donc, dans un certain nombre de matras de verre, de l'eau, de la potasse et de l'oxyde de carbone; en fondant le col des ballons de façon que le verre se soude à lui-même, on obtient une fermeture hermétique. On chauffe alors les matières pendant un

temps assez long, à la température de 100°. Si l'on ouvre les ballons après que les matières sont restées ainsi enfermées ensemble pendant près d'un mois, on trouve que presque tout le gaz oxyde de carbone a été absorbé par l'eau et la potasse pour produire le formiate de potasse.

« Si la combinaison, dit M. Berthelot, se forme avec lenteur, c'est en raison de la faiblesse des affinités mises en jeu, et probablement aussi en raison d'une différence marquée entre l'état moléculaire des corps primitifs et celui du composé produit. L'état initial ne se modifie que successivement et avec une sorte de difficulté. De là, toute l'efficacité des actions lentes pour provoquer les transformations chimiques. Grâce à l'intervention du temps, on met en jeu les affinités les plus faibles, celles qui, dans les conditions ordinaires d'actions rapides, demeurent latentes ou entravées par l'état physique des corps ; par la cohésion, comme on disait naguère. Ces affinités produisent graduellement les phénomènes de combinaison ou de décomposition les plus variés et souvent les plus analogues aux actions naturelles par leur résultat aussi bien que par leur mécanisme.

« L'emploi des vases clos se prête merveilleusement à l'étude de ces réactions lentes, car il permet de se placer dans des conditions nettement définies et exclut d'une manière absolue les influences atmosphériques. De plus, et c'est là son principal avantage, il permet de prolonger indéfiniment le contact des mêmes particules matérielles, tandis que, dans les réactions ordinaires, ces particules, si elles n'agissent instantanément, sont entraînées au loin et soustraites à tout contact prolongé, à toute modification graduelle, mais permanente.

« C'est en se plaçant dans ces conditions nouvelles, en substituant l'emploi lent et continu des affinités faibles au jeu instantané des affinités puissantes, plus propres à détruire les combinaisons organiques qu'à leur donner naissance, que l'on peut arriver à former par voie synthétique les produits spontanés de l'organisation vivante. »

Ces expériences, au reste, ne sont pas sans danger ; la vapeur d'eau, les gaz enfermés, acquièrent dans les tubes de verre chauffés une tension d'autant plus considérable que la température s'élève davantage, et il arrive souvent que les tubes éclatent, lançant de tous côtés des fragments de verre fort dangereux. M. Berthelot

triompha cependant de ces dangers avec habileté ; il plaça les tubes renfermant les matières en réaction dans des vases de fonte enfermés eux-mêmes dans des fourneaux de maçonnerie ; si le tube ne résiste pas et se brise, l'expérience est perdue, mais l'opérateur est à l'abri.

La synthèse de l'acide formique est le premier degré de l'échelle qu'il s'agit de remonter pour arriver à produire des combinaisons de plus en plus riches en carbone. Chacun des composés produit est ainsi un échelon qui facilite étrangement les pas suivants. Employant successivement les actions lentes, ou, au contraire, les réactions vives, M. Berthelot est arrivé à réaliser un grand nombre de synthèses, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ; nous en citerons cependant une remarquable, et qui pourra peut-être un jour être la source d'une industrie importante, c'est la production de l'esprit-de-vin avec un des gaz qu'on obtient en distillant la houille, avec un des principes constituants du gaz de l'éclairage.

Si on agite pendant longtemps un vase renfermant de l'hydrogène bicarboné, de l'acide sulfurique et de l'eau, on finit par obtenir une substance semblable à celle que donnerait l'action de l'acide sulfurique sur l'esprit-de-vin. Rien n'est plus aisé, au reste, que de détruire cette combinaison de façon à en retirer de l'alcool.

L'expérience avait été organisée par M. Berthelot d'une façon originale. Au plafond du laboratoire du collége de France était suspendu un gros ballon renfermant, outre les éléments indiqués, une certaine quantité de mercure qui avait simplement pour but de faciliter la division de l'acide sulfurique lors de l'agitation. Chaque visiteur était engagé à secouer le ballon et à indiquer sur une planchette le nombre de secousses qu'il avait données. M. Berthelot rapporte dans son Mémoire que le ballon reçut cinquante-trois mille secousses.

Pendant l'été dernier, j'allai assister à l'une des leçons que fait M. Berthelot à l'École de pharmacie ; je ne connaissais ce chimiste éminent que par ses travaux, je voulais l'entendre professer. Sa diction claire, simple, sa science très-élevée mais très-sage, suivant pas à pas l'expérience, un peu froide peut-être et sans enthousiasme, lui avait attiré un nombreux auditoire qui le suivait avec attention. Je lui fus présenté après la leçon, et nous revînmes ensemble de la rue de l'Arbalète vers des pays plus civilisés.

En route, une de ces pluies diluviennes, si communes pendant l'été de 1860, nous força de nous arrêter; une galerie couverte du lycée Napoléon nous offrit un abri provisoire, et la conversation continua. M. Berthelot portait avec lui plusieurs flacons bien précieux : l'un renfermait le formiate de baryte obtenu artificiellement et à l'aide duquel il peut faire l'hydrogène bicarboné, comme on le fait en distillant la houille; dans l'autre, se trouvait l'alcool obtenu à l'aide de l'hydrogène carboné, fait lui-même par la décomposition du formiate, c'est-à-dire obtenu en somme avec les éléments, charbon, oxygène et hydrogène, qui entrent dans sa constitution. Tout l'alcool produit jusqu'à présent avec les éléments tenait dans un petit flacon. Qui sait combien se multiplieront ces quelques centimètres cubes? Peut-être sera-ce par milliers d'hectolitres que l'alcool sera formé par cette réaction, dont je tenais à la main les premiers produits.

Les synthèses exécutées par M. Berthelot sont extrêmement nombreuses; ayant une fois obtenu l'esprit-de-vin, il avait une station précieuse d'où il pouvait rayonner de tous côtés. L'essence d'ail, l'essence de moutarde, furent ainsi obtenues; la glycérine, le principe doux des huiles et des graisses, fut préparé par des substances dérivant elles-mêmes des éléments.

La production artificielle d'un des éléments des corps gras était ainsi obtenue; celle d'un grand nombre d'autres matières organiques volatiles fut aussi signalée; et l'on peut regarder comme prochaine la synthèse de tous les principes semblables : « Cet ensemble [1] constitue le premier étage de la chimie organique. Il comprend les composés naturels les plus simples et les mieux étudiés. Mais les principes fixes, tels que la fibrine et les ligneux, qui constituent les tissus des végétaux et des animaux, tels que les matières sucrées et albumineuses dissoutes au sein des liquides qui baignent ces tissus, demeurent en dehors des groupes généraux que l'on vient d'énumérer; la synthèse totale de ces matières, qui forme, pour ainsi dire, le second étage de l'édifice, est à peine ébauchée. Cependant, dès aujourd'hui, il est permis d'espérer, sans témérité, qu'elle pourra être atteinte à son tour, en se fondant sur les mêmes méthodes générales. En effet, la synthèse des corps gras neutres, accomplie au moyen de la glycérine et des acides gras, c'est-

[1] Berthelot, *Chim. org.*, etc., t. II, p. 804.

à-dire la synthèse de l'une des trois grandes classes de principes naturels dont il s'agit [1], est un premier gage des résultats futurs, et justifie déjà les espérances que nous pouvons concevoir. Si nous sommes encore loin du but, nous devons espérer que de nouvelles recherches, fondées sur ces premiers travaux, viendront bientôt développer et préciser les faits inconnus, rectifier les généralités actuelles dans ce qu'elles ont de vague ou d'incomplet, et fournir à la science des conceptions plus parfaites et plus pénétrantes.

« On le voit, la synthèse présente un champ immense et tout nouveau, qui vient d'être ouvert, et qu'il s'agit maintenant de parcourir. Au terme de cette nouvelle carrière se trouve la reproduction des principes sucrés et celle des principes albuminoïdes. C'est le but suprême de la chimie organique, le plus éloigné, mais aussi des plus importants, en raison du rôle essentiel que ces principes jouent dans l'économie. En l'atteignant, la science pourra réaliser dans toute son étendue le problème synthétique, c'est-à-dire reproduire, avec les éléments, et par le seul jeu des forces moléculaires, l'ensemble des composés définis naturels et des métamorphoses chimiques que la matière éprouve au sein des êtres vivants. »

On voit maintenant quelle importance ont les recherches de M. Berthelot. Ce ne sont pas seulement des procédés chimiques nouveaux qu'elles mettent en lumière, ce ne sont pas quelques substances encore inconnues qu'elles donnent le moyen de préparer ; non, elles prennent corps à corps une des idées les plus invétérées parmi les savants et la renversent.

Nous avons tous appris que c'était seulement sous l'influence de la force vitale, d'une force spéciale, propre aux êtres organisés, que se produisaient toutes les substances complexes qui se trouvent dans les végétaux ou dans les animaux. Vérification faite, il se trouve que la nature agit plus simplement qu'on ne l'avait pensé d'abord, et qu'elle emploie ces affinités chimiques qui règlent les métamorphoses de la matière tout aussi bien pour faire ces immenses irruptions qui ébranlent les contrées dans leurs fondements et bouleversent les villes, que pour parfumer une fleur en y distillant goutte à goutte une suave essence.

A mesure que la science progresse, ses théories se simplifient ; au commencement de ce siècle, les physiciens ont déjà pu réunir

[1] Principes hydrocarbonisés, principes azotés, principes gras.

dans le fluide électrique les forces qu'on pensait être différentes et qui produisent les phénomènes du magnétisme, du galvanisme ou de l'électricité proprement dite. La chimie suit aussi cette marche, et elle peut laisser en chemin une des forces que l'explication erronée des phénomènes, leur étude incomplète, l'avaient forcée d'inventer.

La production des substances organiques avec les éléments est un des plus grands pas que la science ait faits. Au milieu des régions qu'explorent les chimistes se dressait une longue chaîne de montagnes; on la côtoyait sans oser la gravir, ou, si l'on avait trouvé quelque passage, on s'était arrêté aussitôt après l'avoir franchi, et les maîtres eux-mêmes la jugeaient inabordable.

On a trouvé le chemin qui mène à son sommet; à chacun de se répandre dans les nouvelles contrées qu'on découvre de ce nouveau point de vue et d'y faire sa moisson.

Quand même M. Berthelot s'arrêterait maintenant et cesserait de travailler, ce qui n'est au reste guère à craindre, il a marqué son nom assez profondément pour qu'on ne puisse plus l'effacer; on poussera dans la voie qu'il a ouverte plus loin que lui, mais il n'en restera pas moins l'agresseur hardi qui, le premier, a planté son drapeau victorieux sur des hauteurs jugées inaccessibles.

Les recherches de M. Berthelot présentent encore pour l'enseignement de la chimie une grande importance; quand on exposait la chimie minérale, l'habitude était toujours de suivre la marche synthétique: on étudiait les éléments, puis on les voyait s'unir entre eux et produire des substances de plus en plus compliquées; mais tout changeait quand on passait à cette seconde partie de la chimie générale désignée sous le nom de chimie organique; on était alors fort embarrassé pour suivre une marche logique, et l'arrangement des matières variait en général au goût des auteurs et des professeurs, suivant presque toujours une marche analytique et passant des substances les plus complexes aux plus simples.

Il y a déjà cinq ou six ans cependant, Gerhardt avait rejeté loin de lui cette marche peu rigoureuse qui introduit dans la chimie la botanique et la zoologie; partant des substances les plus simples, les moins riches en charbon, il étudiait ensuite celles qui en renfermaient des quantités plus considérables.

Cette marche logique vient d'être singulièrement appuyée par les recherches de M. Berthelot, puisqu'on pourra désormais étu-

dier en chimie organique, les uns après les autres, des corps qui dérivent expérimentalement les uns des autres, comme on le fait en chimie minérale. A ce point de vue, la *Chimie organique fondée sur la synthèse* forme un complément précieux de l'admirable *Traité de chimie organique* de Gerhardt qui faisait suite à la chimie de Berzélius.

Il est encore un point sur lequel nous devons appeler l'attention du lecteur, c'est sur la simplicité de l'arrangement de la chimie organique, qui a passé pendant bien des années, et avec raison, pour être l'emblème du désordre, pour être un dédale dans lequel les initiés mêmes couraient grand risque de se perdre.

Quand, il y a trente ans, à la suite des grands chimistes du siècle précédent et du commencement de celui-ci, de M. Chevreul, de M. Dumas, de M. Liébig, on se jeta avec une merveilleuse ardeur dans les recherches de chimie organique, on essaya bien des classifications; mais presque toutes, trop empreintes de l'esprit de leur auteur, avortèrent et finirent par disparaître par l'exagération même de leur principe. — Il en est une cependant due surtout à MM. Dumas et A. Laurent, qui s'est maintenue plus longtemps; elle persiste encore, elle a rendu les plus éminents services. M. Berthelot toutefois n'en a point fait usage dans son dernier ouvrage; il était, au reste, assez riche en expériences pour se passer des systèmes, et il a voulu rester aussi près des faits que possible; quoi qu'il en soit, la théorie des types présente maintenant dans un grand nombre de circonstances une manière si commode d'expliquer les faits, qu'il est peu à croire qu'elle soit abandonnée de longtemps.

Si, dans son livre, M. Berthelot n'a pas adopté cette théorie, il a cependant rendu de grands services à l'arrangement de la chimie organique, et c'est là un second point de vue sous lequel nous devons envisager son ouvrage.

Quand le premier travail de description des substances organiques commença d'avancer, quand on eut isolé, étudié, décrit les nombreuses matières que fournissent les animaux et les végétaux, on se trouva au milieu d'un singulier désordre; on avait des acides en grand nombre, des bases, des matières grasses, des essences, des sucres, des principes colorants; quelles relations existaient entre tous ces corps? Y avait-il apparence de liens de parenté entre eux? Étaient-ils tous formés sur des types différents, ou bien

devait-on chercher quelques airs de famille capables de conduire à des rapprochements? On savait bien que l'alcool ordinaire, l'esprit-de-vin, est susceptible de donner naissance à l'acide acétique, au vinaigre, qui prend naissance quand le vin s'aigrit. D'autres acides présentaient certains points de ressemblance avec l'acide acétique; ne pouvaient-ils pas dériver aussi d'alcools différents de l'alcool ordinaire, mais lui correspondant comme les acides connus correspondaient à l'acide acétique? Ces alcools furent caractérisés par les travaux de MM. Dumas, Péligot, Cahours et Balard, et bientôt naquit l'idée féconde de rapprochements à établir entre des composés qu'on croyait d'abord tout à fait différents. Trois alcools vinrent ainsi d'abord se ranger autour de l'esprit-de-vin; on ne devait pas toutefois en rester là : deux des alcools connus, l'alcool méthylique qu'on obtient en distillant le bois et l'alcool ordinaire, étaient très-voisins l'un de l'autre; le troisième, au contraire, placé dans la série au-dessus de l'esprit-de-vin, s'en éloignait beaucoup. Il semblait exister là quelques places vides; enfin, entre l'alcool amylique ou huile de pomme de terre et l'éthal, quatrième alcool, se trouvait aussi un énorme espace vide qui faisait présumer l'existence de nouveaux alcools; ils furent cherchés : M. Bouis, M. Wurtz, découvrirent successivement l'alcool caprylique et l'alcool butylique; d'autres furent encore obtenus.

Autour de cette première famille d'alcools vint donc se placer déjà une foule de substances dont la place fut dès lors bien nettement indiquée; car, si chaque alcool s'entoure de substances diverses qui se trouvent classées aussitôt que leur chef de file a trouvé son rang, bien d'autres matières cependant restaient encore inclassées; un remarquable pas en avant fut fait quand un chimiste sicilien, qui avait travaillé pendant plusieurs années au Muséum d'histoire naturelle, M. Cannizzaro, annonça l'existence d'un nouvel alcool, parfaitement déterminé, mais d'une famille tout à fait différente de celles qui étaient connues. Plusieurs essences purent dès lors avoir leur place définie, entre autres l'essence d'amandes amères, et l'idée qu'on se faisait d'un alcool s'élargit considérablement. M. Berthelot, enfin, donna à cette grande classe de composés une bien plus grande importance encore quand il introduisit dans la science, quelques années après, l'idée d'alcool polyatomique.

Les corps gras qu'on ne savait dans quel groupe placer, les su-

cres isolés aussi, vinrent se ranger dans cette nouvelle famille et entraînèrent après eux dans cette classification un grand nombre de corps, dont la place n'était pas déterminée. Non-seulement l'opinion de M. Berthelot sur la manière dont il fallait considérer les corps gras démontra la justesse des prévisions émises sur ce sujet quarante ans auparavant par M. Chevreul, et fixa définitivement la place de ces substances, mais elle fut encore singulièrement féconde, en ce qu'elle engagea les chercheurs dans une nouvelle voie. M. Wurtz fut bientôt assez heureux pour y rencontrer toute une nouvelle classe d'alcools, les glycols, auxquels pourront très-probablement se rattacher un grand nombre d'acides végétaux (acides malique, tartrique, citrique, etc.), dont les chimistes étaient jusqu'alors fort embarrassés et qui se rattacheront à ces nouveaux alcools, de la même façon que l'acide acétique à l'esprit-de-vin.

« ... Il était encore de très-bonne heure quand je quittai Gœttingue, et le savant Eichhorn était certainement encore étendu dans son lit, et faisait peut-être son rêve d'ordinaire, qu'il se promenait dans un beau jardin, sur les plates-bandes duquel il ne croissait que de petits papiers blancs, chargés de citations, qui brillaient d'un doux éclat au soleil, et dont il cueillait plusieurs çà et là, qu'il transplantait laborieusement dans une planche nouvelle, pendant que les rossignols réjouissaient son vieux cœur de leurs accents les plus doux[1]. »

Ainsi dit Henri Heine, et nous craignons que le lecteur ne nous applique cette citation; la classification des composés organiques dont nous n'avons donné qu'une première idée parce que nous n'avons parlé que des alcools, n'est cependant ni une œuvre stérile ni une œuvre qui manque de grandeur.

Qu'on suppose un vaste chantier, les pierres sont toutes taillées, et placées çà et là sans ordre; vous parcourez avec curiosité cette masse immense de matériaux; les statues, les bas-reliefs, vous charment; le fini du modelé, la grâce des détails, vous intéressent d'abord ; mais bientôt vous êtes las de vous promener au milieu de ce dédale, de vous heurter à chaque pas, sans comprendre l'ensemble, sans savoir comment les pièces doivent s'agencer et quel aspect aura le monument; que serait-ce donc s'il vous fallait re-

[1] Reisebilder. — Le Hartz.

trouver au milieu de toutes ces pierres un fragment qui vous intéresse spécialement? que de temps perdu à le chercher !

Les pierres sont taillées, les chimistes actuels veulent les mettre en place, quelques-unes manquent encore à coup sûr, mais on verra bien mieux ce qui fait encore défaut quand, les assises étant élevées, les vides apparaîtront d'eux-mêmes. C'est à ce bel édifice que chacun veut travailler, et le livre de M. Berthelot n'aura pas peu contribué à hâter sa construction.

Non-seulement, en effet, il s'est mis lui-même franchement à l'ouvrage et a fait rapidement avancer la besogne dont il s'était chargé; mais, comme un ingénieur habile, il a su aussi montrer bien des points où il fallait encore travailler. Le chapitre où il parle des *méthodes* à employer n'est pas un des moins curieux de son ouvrage; on peut, en le prenant pour guide, aller droit avec un but bien déterminé devant les yeux; on ne suivra plus cette marche un peu irrégulière qu'affectionnaient nos devanciers allant à la débandade, frappant les buissons pour faire sortir le gibier, on avancera en ligne et d'une façon continue. Qui veut trouver des sujets de travaux n'a qu'à consulter le livre de M. Berthelot : il annonce pour un seul composé plusieurs millions de substances à découvrir, qu'il peut définir à l'avance et qu'il sera très-probablement possible de préparer en suivant ses indications.

A la fin de son ouvrage, M. Berthelot s'élève même plus haut; il ne se limite plus à la science qu'il étudie, il jette un coup d'œil sur l'ensemble des connaissances humaines, et s'efforce de montrer le trait fondamental qui distingue les sciences expérimentales des sciences d'observation.

Le lecteur nous saura gré, sans doute, de mettre sous ses yeux ce passage remarquable, qui termine la *Chimie organique fondée sur la synthèse*.

« La chimie crée son objet. Cette faculté créatrice, semblable à celle de l'art lui-même, la distingue essentiellement des sciences naturelles et historiques. Les dernières ont un objet donné d'avance et indépendant de la volonté et de l'action du savant : les relations générales qu'elles peuvent entrevoir ou établir reposent sur des inductions plus ou moins vraisemblables, parfois même sur de simples conjectures dont il est impossible de poursuivre la vérification au delà du domaine extérieur des phénomènes observés. Ces sciences ne disposent point de leur objet. Aussi sont-elles souvent,

trop souvent condamnées à une impuissance éternelle dans la recherche de la vérité, ou doivent-elles se contenter d'en posséder quelques fragments épars et souvent incertains.

« Au contraire, les sciences expérimentales ont le pouvoir de réaliser leurs conjectures. Ces conjectures servent elles-mêmes de point de départ pour la recherche de phénomènes propres à les confirmer ou à les détruire. En un mot, les sciences dont il s'agit poursuivent l'étude des lois naturelles, en créant tout un ensemble de phénomènes artificiels qui en sont les conséquences logiques.

« ..... Les sciences expérimentales arrivent à soumettre toutes leurs opinions, toutes leurs hypothèses à un contrôle décisif, en cherchant à les réaliser. Ce qu'elles ont rêvé, elles le manifestent en acte. Les types conçus par le savant, s'il ne s'est point trompé, sont les types mêmes des existences. Son objet n'est point idéal, mais réel. Par là, en même temps que les sciences expérimentales poursuivent leur objet, elles fournissent aux autres sciences des instruments puissants et éprouvés, et des ressources souvent inattendues.

La chimie possède cette faculté créatrice à un degré plus éminent encore que les autres sciences, parce qu'elle pénètre plus profondément et atteint jusqu'aux éléments naturels des êtres. Non-seulement elle crée des phénomènes, mais elle a la puissance de refaire ce qu'elle a détruit ; elle a même la puissance de former une multitude d'êtres artificiels semblables aux êtres naturels et participant de toutes leurs propriétés. Ces êtres artificiels sont les images réalisées des lois abstraites dont elle poursuit la connaissance. C'est ainsi que, non contents de remonter par la pensée aux transformations matérielles qui se sont produites autrefois et qui se produisent tous les jours dans le monde minéral et dans le monde organique, non content d'en ressaisir les traces fugitives par l'observation directe des phénomènes et des existences actuelles, nous pouvons prétendre, sans sortir du cercle des espérances légitimes, à concevoir les types généraux de toutes les substances possibles et à les réaliser ; nous pouvons, dis-je, prétendre à former de nouveau toutes les matières qui se sont développées depuis l'origine des choses, à les former dans les mêmes conditions, en vertu des mêmes lois, par les mêmes forces, que la nature fait concourir à leur formation. »

Nous n'ajoutons rien à ces belles pages, elles sont tout em-

preintes de cette audace, puiséedans le souvenir de brillants succès qui en présagent de nouveaux. — On sent la foi et l'enthousiasme sous ce style calme et concentré qu'affectionne l'auteur; on y reconnaît, cette persévérance, cette force de volonté dirigée vers un but bien déterminé, qui l'ont déjà mené à des résultats si remarquables, bien qu'il ne soit encore qu'aux débuts de sa carrière.

En résumé, bien écrit, ainsi qu'on l'a pu voir par les longs emprunts que nous nous sommes permis, grandement conçu, démontrant à la fois chez l'auteur une force de travail prodigieuse, une grande érudition, un esprit large, amoureux de la simplicité et de la grandeur, la *Chimie organique fondée sur la synthèse* aura certainement la plus heureuse influence sur les progrès de la science.

P. P. Dehérain.

II

LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.

LES SÉANCES PUBLIQUES — M. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.

En 1858, quelques jeunes chimistes, désireux de causer de leurs travaux, de leurs espérances, des théories de la belle science à l'étude de laquelle ils s'étaient voués, et curieux de nouveautés, pensèrent à se réunir à jours fixes. Ce fut là l'origine de l'association qui devait bientôt prendre le nom de *Société chimique de Paris*.

Les chimistes, nombreux dans la capitale, manquaient d'un lien; cette Société le leur offrit : aussi elle comptait à peine quelques mois d'existence, que le nombre de ses membres s'était accru avec une grande rapidité; à côté de jeunes praticiens encore obscurs se rencontrèrent bientôt des hommes placés au premier rang par leurs travaux et leur position. La société perdait de plus en plus

son caractère de réunion intime de jeunes gens, pour revêtir celui d'une petite académie ; elle entra résolûment enfin dans cette nouvelle voie, en choisissant pour président M. Dumas, le chef actuel de la chimie française, et en déclarant qu'elle publierait les bulletins de ses séances.

L'année 1859 se passa, pour la Société chimique, à écouter les communications souvent très-importantes de ses membres, et en même temps à discuter son règlement intérieur. A l'une des séances du mois de juillet, où il s'agissait de voter ce règlement d'une façon définitive, M. Dumas occupait le fauteuil; il n'avait pas considéré, en effet, son titre de président, simplement comme honorifique; mais, sentant l'heureuse influence que pouvait avoir la Société sur les progrès de la chimie, il se mêlait à ses travaux. Après avoir fait voter les principaux articles, le président prit la parole et proposa à la Société d'étendre son influence, assez restreinte jusqu'alors, d'abord, en instituant des séances publiques, ensuite en réunissant les œuvres complètes des principaux chimistes français et étrangers en une édition, sorte d'évangile des chimistes, où l'on pourrait suivre pas à pas les travaux des maîtres, et saisir sur le vif l'enseignement le plus puissant qu'on doive chercher dans leur œuvre : la méthode.

Par suite d'empêchements complétement indépendants de la volonté des secrétaires, dont la Société s'est toujours plu à reconnaître le zèle et le dévouement, cette partie importante des publications de la société n'a pu encore recevoir d'exécution ; rien ne saurait être plus regrettable, à coup sûr, peu à peu cependant notre Société s'enrichit, et, quand le nerf de la guerre fera moins défaut, nous espérons que cette publication sera entreprise pour ne plus être interrompue.

Les séances publiques, dans l'esprit de M. Dumas, ne devaient pas être les réunions habituelles de la Société, auxquelles le public serait admis, mais elles devaient prendre la forme de leçons, dans lesquelles les auteurs de découvertes récentes pourraient exposer leurs travaux, en fortifiant cet exposé des expériences qu'exige l'enseignement. Une institution semblable existe en Angleterre, et une nombreuse assemblée vient écouter attentivement les leçons des princes de la science. C'est ainsi que Davy avait autrefois attiré sur lui l'attention de l'aristocratie anglaise; c'est ainsi que Faraday vient aujourd'hui encore exposer ses admirables travaux sur

l'électricité. M. Dumas pensait que, la Société chimique de Paris comptant dans son sein les professeurs les plus habiles, les plus écoutés de la capitale, ses séances ne pouvaient manquer d'un grand intérêt, d'autant plus que le talent habituel des orateurs se trouverait surexcité par la présence d'un auditoire d'élite, et par l'élan qu'on apporte toujours à l'exposition de ses propres travaux.

Les propositions tendant à établir ces séances publiques, et à commencer la publication des œuvres complètes des chimistes illustres, furent adoptées avec enthousiasme, et six mois plus tard, dès les premiers jours de janvier 1860, commencèrent les leçons publiques de la société chimique de Paris.

M. Pasteur, sous-directeur de l'École normale; M. Henri Sainte-Claire Deville, maître de conférences à la même École, et professeur suppléant à la Faculté des sciences; M. Wurtz, professeur à l'École de médecine; M. Berthelot, professeur à l'école de pharmacie; M. Cahours, professeur à l'École centrale des manufactures; enfin M. Barral, rédacteur en chef du *Journal d'agriculture pratique*, développèrent successivement leurs travaux les plus récents, devant un auditoire extrêmement nombreux, présidé par un bureau composé exclusivement de membres de l'Institut, auxquels M. Dumas, président de la Société, faisait les honneurs de la séance.

Pendant l'année 1861, les séances publiques eurent encore le plus grand attrait; on ne s'y occupa plus exclusivement de chimie, des physiciens y furent conviés; c'est ainsi que M. Jamin, que M. Ed. Becquerel [1], que M. Lissajous y développèrent leurs récents travaux; plusieurs des leçons de chimie furent consacrées à l'exposition de recherches, dont nous donnerons le résumé dans d'autres articles.

Nous avions l'intention de donner aux lecteurs une idée de l'une de ces séances; mais, au moment de nous mettre à l'œuvre, nous avons été singulièrement embarrassé par le choix qu'il y avait à faire. Chacune de ces leçons avait, en effet, une telle individualité, elle mettait si bien en lumière un point important, qu'après avoir adopté l'une, on revenait à l'autre, sans savoir se décider.

L'une d'elles toutefois, touchant aux plus grandes questions

[1] La leçon de M. Ed. Becquerel a été consacrée à l'exposition de ses recherches sur *la Phosphorescence* qui sont résumées plus haut.

qu'aient à résoudre les chimistes, nous a paru particulièrement destinée à montrer l'importance de ces réunions si heureusement établies par M. Dumas, dont on ne saurait trop louer l'excellente initiative. C'est donc la troisième séance, où le professeur était M. Henri Sainte-Claire Deville, que nous avons dû préférer, et dont nous allons essayer de reproduire les traits principaux[1].

Une raison qui a déterminé notre choix est aussi, il faut l'avouer, l'impression très-vive que nous a faite cette séance. C'était une causerie plutôt qu'une leçon, courant çà et là, un peu confuse parfois, sans grand ordre ni méthode; mais, sous cette forme peu châtiée, une âme s'épanchait; on n'écoutait pas un professeur en chaire, mais un homme d'esprit, le dos à la cheminée, dévoilant dans une conversation intime le fond de sa pensée et trouvant presque toujours le mot juste, saisissant, frappant, si rare dans l'enseignement compassé et méthodique.

C'est que M. H. Sainte-Claire Deville est un des esprits les plus originaux, les plus vifs de ce temps-ci; travailleur infatigable, expérimentateur hardi et avisé, il a fait faire à la science des progrès rapides, surtout en lui apprenant à se servir mieux de ce qu'elle possédait déjà.

Le nom de M. H. Deville a commencé d'être connu du public quelque temps avant l'Exposition de 1855. Vers la fin de l'année 1854, si nous ne faisons erreur, M. Dumas adressa au ministre de l'instruction publique un rapport sur des travaux exécutés par M. H. Deville sur l'aluminium, un métal extrêmement léger, brillant, inaltérable, sonore, dont le minerai est le plus vulgaire du monde, puisque c'est l'argile des champs. C'est à la suite de ce rapport que M. H. Deville fut nommé officier de la Légion d'honneur.

L'aluminium était à peine connu, depuis la découverte qu'en

[1] La leçon professée en avril 1860 par M. Deville a été publiée avec toutes celles qui furent faites dans le cours de cette année, sous le nom de *Leçons de chimie* (librairie Hachette); il eût été facile de modifier ce résumé, de le compléter et de le rapprocher beaucoup de l'original; toutefois M. Deville a abordé dans cette leçon plusieurs questions, que nous n'avons pas osé essayer de présenter au public, elles touchent, en effet, aux parties de la science les plus abstraites, et il faudrait des développements en dehors de ce cadre pour les faire saisir, nous avons donc essayé seulement de résumer une partie de la leçon de M. H. Deville, et nous l'imprimons tel que nous l'avions écrit, sous l'impression très-vive que nous avait laissée cette séance.

avait fait une vingtaine d'années auparavant l'illustre Wöhler, professeur à la Faculté des sciences de Göttingue, un des savants les plus remarquables de l'Allemagne, et qui succède, de l'autre côté du Rhin, à l'immense réputation de Berzélius.

Employant des quantités de matière plus considérables, des vases non métalliques, M. Deville obtint bientôt l'aluminium avec des propriétés très-différentes de celles que lui avait attribuées M. Wöhler, et eut l'idée d'en faire, non plus un produit rare destiné à figurer dans une collection, mais un métal vulgaire, comme l'argent et le cuivre, et pouvant tenir dans les usages domestiques une place spéciale, à cause de sa légèreté et de son inaltérabilité.

Les procédés de M. Deville passèrent bientôt, en effet, du laboratoire à l'usine, allant se simplifiant, car il se trouva que, comme toujours, on s'était donné d'abord beaucoup plus de peine qu'il ne fallait. La découverte de M. Wöhler se trouvait donc singulièrement perfectionnée par les travaux de M. Deville. On aurait pu croire que cette jalousie, si commune dans les sciences, allait faire de ces deux savants deux rivaux, deux ennemis; c'est le contraire qui arriva et qui devait arriver, étant donné le caractère des deux hommes.

Si M. H. Deville est en effet aimable, avenant, beau causeur, même pour celui qui se présente sans le connaître, et sans autre recommandation que d'aimer la chimie, M. Wöhler a précisément les mêmes qualités. Nous garderons toujours une profonde reconnaissance de l'accueil qu'il nous fit, quand nous arrivâmes à Göttingue pour le voir. Nous le trouvâmes dans un des trois ou quatre laboratoires qu'occupe sa jeune armée de chimistes; il était là au milieu de ses élèves, travaillant avec eux, les guidant de ses conseils, de son expérience, leur montrant la manière d'opérer, précieux enseignement en chimie, où l'habileté manuelle est une bonne partie du talent.

Il abandonna tout pour nous accueillir, nous montrer ses collections très-riches et très-belles, pour nous parler de l'Allemagne et de la France; une de ses filles avait elle-même apporté le pot de bière nationale, et c'était le cigare aux lèvres que nous écoutions ce grand homme, si simple d'allures et si bienveillant.

L'amitié de M. Wöhler et de M. Deville a été féconde pour la science. Outre une collection des lettres qu'ils s'adressent l'un à l'autre, et qui sera bien curieuse et digne d'être publiée, les deux

savants ont fait en commun plusieurs travaux du plus grand intérêt, un entre autres sur le bore.

Ces recherches sont dignes de remarque : non-seulement elles font mieux connaître une substance encore mal étudiée, mais de plus elles fortifient, de la façon la plus heureuse, les idées émises sur la distribution des corps simples en famille.

On sait qu'on a réuni les corps simples, les substances encore indécomposées, en un certain nombre de groupes comprenant les substances à propriétés analogues, dont les histoires se calquent l'une sur l'autre, tellement que sachant l'une on peut presque deviner l'autre. Par une sorte d'intuition remarquable, on avait ainsi réuni trois corps simples : le charbon, le silicium et le bore.

Bien peu de raisons semblaient avoir dicté cette réunion, les propriétés chimiques différaient assez complétement, et les caractères physiques ne se ressemblaient guère.

Jusqu'à ces derniers temps, le bore, préparé par une méthode due à Gay-Lussac et Thénard, était connu seulement sous forme d'une poudre brune, assez combustible, mais difficile à fondre; on pouvait donc le comparer au noir de fumée combustible et infusible, mais on n'avait nulle variété comparable au graphite, ce corps semi-cristallin dont certains gisements ont été si heureusement employés à la fabrication des crayons dits de mine de plomb. On n'avait pas non plus le bore transparent et cristallisé, analogue au diamant.

Ce sont ces deux variétés de bore, cristallisé et semi-cristallin, qu'ont découvert, par des recherches faites en commun, M. Wöhler et Deville, chacun travaillant de son côté, l'un à Göttingue, l'autre à l'École normale à Paris, mais en se communiquant leurs idées, en se disant comment ils avaient échoué, comment ils pensaient réussir. C'est en décomposant les substances renfermant du bore, acide borique ou fluo-borate de potassium à l'aide de l'aluminium, qu'on obtient le bore sous ces nouvelles formes. Exemple curieux de cette remarque, dont l'histoire des sciences présente de nombreuses vérifications, qu'une découverte est importante, non-seulement en elle-même, mais aussi parce qu'elle met aux mains des chercheurs une arme nouvelle. MM. Wöhler et Deville ont découvert et su préparer de grandes quantités d'aluminium, et cette découverte leur a permis de faire le bore cristallisé et le bore graphitoïde.

Le bore cristallisé peut être rouge assez foncé, mais aussi parfaitement diaphane; il est extrêmement dur, rayant toutes les pierres précieuses à l'exception du diamant, dont il possède presque la dureté, puisqu'il peut servir à le polir; très-difficile à fondre et à attaquer par les agents chimiques, le bore cristallisé réfracte et réfléchit la lumière, il jette les feux les plus brillants. Ne croirait-on pas qu'on énonce les propriétés du diamant? Personne ne sera donc étonné qu'on ait donné au bore cristallisé le nom de diamant de bore; diamant en effet, et qui, s'il est jamais préparé en grande quantité, pourra, dans la joaillerie, rivaliser avec le diamant naturel.

Un fait très-intéressant, signalé par les auteurs des recherches sur le bore, c'est que les cristaux les plus hyalins, les plus diaphanes, ont tous donné à l'analyse une certaine quantité de charbon, qui évidemment s'y trouvait à l'état de diamant, car chacun sait que quelques millièmes de charbon noir suffisent pour donner aux substances qui les renferment une teinte des plus prononcées. Ainsi, bien qu'on n'ait pas encore trouvé le moyen de faire industriellement le diamant de charbon, on a touché à la solution, et il est possible de prévoir qu'on puisse arriver complétement, en dissolvant le charbon en même temps que le bore dans l'aluminium.

Ce ne sont pas, cependant, les belles recherches qu'il avait faites en commun avec M. Wöhler sur l'aluminium, ni sur le bore, ni sur le silicium, que M. Deville a voulu exposer dans une des séances de la Société chimique de Paris.

Il a préféré présenter le résultat de travaux du plus haut intérêt théorique, qu'il venait de terminer avec un de ses plus brillants élèves, M. Troost, qui est actuellement professeur de physique et de chimie au lycée Bonaparte.

Après avoir discuté quelques-unes des lois susceptibles de se formuler en nombres que possède la chimie, M. Deville exposa les méthodes qu'il a suivies avec M. Troost, pour déterminer les *densités de vapeur* de certaines substances à des températures très-élevées.

On a reproché à la chimie de n'être encore qu'une science purement expérimentale, un recueil de recettes pharmaceutiques, sans liens les unes avec les autres, sans larges vues d'ensemble, sans grandes lois régissant un nombre de faits considérable.

Cette critique n'est pas entièrement fondée, il existe quelques

lois générales; l'une des plus importantes fut découverte par Gay-Lussac, et son exposé forme un des plus beaux morceaux des trois curieux volumes qui renferment les *Mémoires de la Société d'Arcueil.*

Tous les gaz, dit cette loi, se combinent, suivant des rapports simples, en volumes, et le produit résultant de la combinaison est encore dans un rapport simple avec celui des deux gaz composants.

De nombreux exemples permettent la vérification directe de cette loi; le gaz produit par l'union de volumes égaux de chlore et d'hydrogène est dans ce cas, la combinaison a lieu sans que le volume change; par conséquent deux volumes de gaz chlorhydrique sont formés d'un volume de gaz hydrogène et d'un de gaz chlore. Ainsi, les volumes de gaz simple sont 1 et 1, le volume du gaz composé est 2. 1, 1 et 2, rapports simples s'il en fut.

On a encore remarqué que, lorsque deux corps de la même famille s'unissent avec la même substance, ils donnent des combinaisons non-seulement analogues quant aux propriétés chimiques, mais aussi quant à la composition. Le chlore, le brôme et l'iode, qui forment une famille de corps simples des plus naturelles, donnent avec l'hydrogène trois combinaisons sœurs, constituées de la même façon. Ainsi que nous venons de le voir, deux litres d'acide chlorhydrique renferment un litre d'hydrogène et un litre de chlore; deux litres de gaz bromhydrique renferment de même un litre d'hydrogène et un de vapeur de brôme; deux litres d'acide iodrydrique, un d'hydrogène et un de vapeur d'iode.

La loi de Gay-Lussac sera donc non-seulement la constatation très-curieuse d'une propriété commune à toute une classe de substances, mais encore un puissant moyen de constater des analogies, de contrôler des rapprochements; car, si des corps analogues présentent une composition semblable, réciproquement des compositions semblables devront appartenir à des substances de la même famille.

Les exemples précédents montrent que la loi de Gay-Lussac s'applique non-seulement aux substances gazeuses à la température ordinaire, mais aussi à celles qui peuvent prendre l'état aériforme quand elles ont emmagasiné une quantité de chaleur suffisante, non-seulement aux gaz permanents, mais encore aux gaz faciles à liquéfier, autrement dit aux vapeurs.

On aurait toutefois rencontré de grandes difficultés s'il avait

fallu mesurer directement les volumes occupés par ces vapeurs au moment de la combinaison, et on a dû, pour plus de facilité, arriver à mesurer les densités de ces vapeurs, c'est-à-dire qu'il a fallu obtenir le rapport qui existe entre le poids d'un certain volume de cette vapeur et le poids du même volume d'air, les deux substances étant prises à la même température et à la même pression.

La recherche des procédés propres à trouver ces densités de vapeur occupa d'abord Gay-Lussac, puis plus tard M. Dumas, qui dota les chimistes d'un appareil extrêmement précieux et commode qui leur a rendu d'immenses services.

Bien que M. Dumas eût commencé ces recherches dès 1826, il n'avait pas encore, en 1832, donné le poids du litre de vapeur de soufre et de vapeur de phosphore. N'ayant aucun résultat d'expériences, on avait appelé à l'aide la théorie, et, par suite des analogies récemment mises en lumière entre le soufre et l'oxygène d'une part, le phosphore et l'azote de l'autre, on avait admis que la densité de la vapeur de soufre doit être 2.2, et celle de la vapeur de phosphore 2.16.

Poussé par le désir de contrôler ces idées théoriques, pressé par M. Mitscherlich, alors à Paris, et qui désirait se familiariser avec les nouveaux procédés, M. Dumas reprit ses travaux sur les densités de vapeur, et s'attacha spécialement à celles du soufre et du phosphore.

A son grand étonnement il trouva qu'un litre de vapeur de soufre pesait 8^g5 et un litre de vapeur de phosphore 5^g75. La densité de ces vapeurs est donc 6.6 pour le soufre, 4.4 pour le phosphore, c'est-à-dire que celle du soufre est le triple de ce qu'indiquait la théorie, et celle du phosphore le double.

Cette divergence n'était pas un mécompte ordinaire. Dans les circonstances où elle s'était produite elle prenait l'importance d'un fait capital. Les rapprochements entre les corps simples, leur groupement, l'importation, en chimie, de l'idée de famille, empruntée à l'histoire naturelle, tout cela était nouveau, discuté par conséquent. M. Dumas, déjà célèbre, jeune encore cependant, et qui avait tant contribué à populariser ces nouvelles idées, n'avait pas alors l'autorité que lui donnent actuellement quarante ans de travaux. Les nouveaux résultats signalés pouvaient faire tomber son œuvre, et, pour comble de misère, c'était lui qui portait le coup fatal.

Comme toute science a sa période d'enfantement, la chimie se débattait alors entre deux tendances opposées; tandis que les uns, cherchant à la maintenir dans la voie purement expérimentale, voulaient la forcer à continuer d'accumuler brutalement des faits, d'inventorier, d'inventer procédés et recettes; les autres voulaient, au contraire, la lancer dans la voie féconde des classifications. Les premiers, esprits plus frappés des contrastes que des ressemblances, plus pratiques, plus étroits, étaient d'avis de continuer l'œuvre commencée en analysant et examinant tout ce qu'on rencontrait; les autres, plus hardis, plus aventureux, plus larges, tout en respectant la méthode expérimentale, essayaient les groupements, et cherchaient au-dessus des faits la loi qui les régit.

Cette découverte inattendue était une défaite pour ce parti; puisque le soufre et l'oxygène, l'azote et le phosphore, qu'on avait voulu rapprocher, ne se conduisent pas de la même façon lorsque, se combinant avec la même substance, ils devaient former les corps qu'on avait voulu rapprocher, il fallait en conclure que ces rapprochements étaient fautifs; les autres étaient probablement dans le même cas, et il fallait mieux revenir à la constatation pure et simple des phénomènes que de se lancer dans une voie où l'on rencontrait un échec dès les premiers pas.

Les effets toutefois ne furent pas aussi fâcheux; on eut confiance dans les données théoriques malgré l'expérience; et, plutôt que d'admettre que les rapprochements établis entre l'oxygène et le soufre d'une part, entre le phosphore et l'azote de l'autre, étaient illusoires, on crut qu'on avait rencontré une anomalie dont le temps peut-être aurait raison.

Une de ces anomalies vient, en effet, d'être levée d'une façon complète, et c'est là le point capital de la belle leçon faite par M. Deville.

Au lieu de s'en tenir à prendre les densités de vapeur à 500°, comme avait fait M. Dumas, c'est-à-dire à comparer les poids de volumes égaux de vapeur et d'air placés successivement à cette température élevée et soumis à la même pression, MM. Deville et Troost ont eu l'idée de pousser la température jusqu'à 800 et 1000°[1]. Mais ici les difficultés commencent. Quels appareils pren-

[1] Au lieu de prendre l'air comme un terme de comparaison, les auteurs ont employé la vapeur d'iode, qui, étant très-lourde, donne moins de prise aux erreurs de pesée.

dre? Dans quels vases enfermer ces vapeurs? Le verre ne résistera pas; non, le verre fond, à cette température, comme de la cire à cacheter dans la flamme d'une bougie. Nous prendrons la porcelaine. Comment ensuite mesurer la température? Question délicate quand la chaleur devient élevée, car les moyens précis que nous possédons diminuent de certitude à mesure qu'on s'éloigne des températures ordinaires. Nous ne mesurerons pas ces températures, une remarque extrêmement originale et élégante va nous en dispenser.

Sous une pression constante, les substances volatiles entrent toujours en ébullition à la même température; quand le mercure du baromètre indique que la pression atmosphérique est de 760 millimètres, l'eau bout toujours à 100°, le soufre à 440, le cadmium à 860, le zinc à 1040. Si donc on place successivement dans un bain, où l'on chauffe une de ces substances jusqu'à la faire bouillir, les vases renfermant les corps volatils, on est certain de pouvoir, sans la mesurer, retrouver la même température.

En soumettant donc un vase de porcelaine contenant du soufre, à 860°, température d'ébullition du cadmium, on a trouvé que tout à coup cette vapeur de soufre éprouvait une dilatation considérable, que son volume devenait trois fois plus grand qu'à une température plus basse, et que, si la densité de vapeur de soufre prise à 500° était bien 6.6, comme M. Dumas l'avait observé en 1832, elle devenait 2.2 à 860°, c'est-à-dire qu'elle avait précisément la valeur que lui avait assignée la théorie[1].

Ainsi, les analogies entre le soufre et l'oxygène sont parfaitement contrôlées : l'hydrogène sulfuré est formé d'un volume de vapeur de soufre uni à deux d'hydrogène, comme la vapeur d'eau est formée d'un volume d'oxygène combiné à deux d'hydrogène.

Comme on l'avait prévu, le soufre présente des anomalies; le soufre chimique qui entre en combinaison n'est pas ce soufre solidifié et dense qui existe à la température ordinaire, mais un soufre gazeux, plus léger, dont les molécules écartées sont particulièrement aptes à la combinaison.

Ce dut être une grande joie pour M. Deville que de constater pour la première fois que la densité de vapeur de soufre était bien

[1] M. Bineau, professeur à la Faculté des sciences de Lyon, que la science a perdu récemment, paraît être arrivé, par une méthode peu précise, à un résultat analogue depuis plusieurs années.

de 2.2. Quel plus grand bonheur peut avoir un savant que de confirmer les prévisions de la théorie! de pouvoir dire une fois de plus à ses confrères attentifs : « Ayez foi dans l'idée! Et quand vous aurez rencontré un certain nombre de faits suivant régulièrement une loi, généralisez hardiment, le temps fera raison des objections et des anomalies. » Arago raconte qu'un jour, allant voir Gay-Lussac, il trouva son grand ami sautant de joie avec ses sabots dans son laboratoire humide, à la suite d'une expérience réussie. J'aurais bien voulu me trouver au laboratoire de l'école normale au moment où, le calcul fait, M. Deville est tombé sur le nombre qu'indiquait la théorie, pour voir l'éclair de plaisir qui a dû briller dans ses yeux.

L'anomalie du phosphore n'a pas été aussi heureusement levée; on a retrouvé à des températures élevées la même densité de vapeur qu'à des chaleurs plus basses, et, quand deux molécules d'azote entrent en combinaison, une seule de phosphore est employée pour produire des substances analogues.

Le rapprochement est-il fautif; l'azote et le phosphore n'ont-ils que des caractères éloignés, et faut-il briser les liens qu'on avait établis entre eux? Non, certes, des expériences récentes de MM. Cahours et Hoffmann sur les hydrogènes phosphorés composés ont établi un rapprochement évident avec les ammoniaques composés. Le phosphore et l'azote sont frères, ou au moins cousins germains à coup sûr.

« Mais, dit M. Deville, l'azote n'est pas un corps comme les autres, il a trop de chaleur emmagasinée, ses molécules sont écartées violemment par cette chaleur, et sa densité est trop faible de moitié. Un grand nombre de ses composés est détonant à cause de cette chaleur retenue, condensée, qui s'échappe souvent violemment et brise la molécule complexe qui la renferme.

« L'iodure d'azote de Gay-Lussac, le chlorure d'azote qui a procuré à Dulong l'occasion de montrer son courage indomptable, détonent sous le plus léger frottement, sous la plus faible élévation de température. Enfermez l'acide azotique anhydre[1] dans un tube soudé à la lampe, placez ce tube dans une boîte remplie de sable, enterrez-le dans une cave; pas la moindre élévation de température ne viendra mettre ses molécules en mouvement. Cependant,

[1] Découvert par M. H. Deville.

ouvrez la boîte après trois semaines d'attente, et vous trouverez votre tube en miettes, l'acide azotique a détoné. — Les fulminates de mercure et d'argent qui éclatent sous le choc et servent aux armes à percussion sont encore des substances azotées. L'azote, messieurs, est semblable à ces larmes de verre tombées incandescentes dans l'eau froide, et qui, figées subitement, ont conservé leur chaleur intérieure et se brisent en mille pièces quand on casse la fine pointe qui les termine. L'azote, messieurs, c'est un corps trempé! »

Nous venons de voir qu'entre 500 et 800 degrés le soufre éprouve une dilatation des plus remarquables, et que sa densité de vapeur devenait le tiers de ce qu'elle était d'abord; qui prouve que cette dissociation s'arrête, que la rupture qui s'est déjà produite dans la molécule entre 500 et 800 degrés ne va pas se reproduire, et que le véritable soufre chimique est celui qu'on obtient en chauffant sa vapeur dans le cadmium en ébullition?

On pouvait en être certain par suite de l'accord qui existait entre le nombre déterminé par la théorie et celui qu'avaient donné MM. Deville et Troost. Mais ces habiles expérimentateurs ont voulu avoir raison de cette objection, non-seulement par des indications théoriques, mais de plus à l'aide de nouvelles expériences.

En poussant leurs recherches plus loin, ils ont déterminé la densité de la vapeur de soufre dans le zinc en ébullition, c'est-à-dire à 1040 degrés, et cette fois ils trouvèrent que la densité de la vapeur de soufre était restée parfaitement la même qu'à 860 degrés. Ainsi, pendant ce nouvel intervalle de 200 degrés, le soufre n'éprouve plus de ces variations brusques qu'on avait observées plus bas, et on en pouvait conclure qu'on était bien tombé sur le nombre exact dans la précédente recherche; l'expérience venait donc donner là une confirmation éclatante aux prévisions de la théorie.

Cette seconde détermination à une température plus élevée était d'autant plus nécessaire que M. Cahours avait montré que les vapeurs n'ont pas acquis leur véritable densité à quelques degrés au-dessus de leur point d'ébullition. *Natura non facit saltum.* La nature n'aime pas les transitions trop brusques, et, pendant un certain espace de l'échelle thermométrique, les vapeurs restent des êtres intermédiaires entre les liquides et les gaz; elles n'obéissent qu'incomplétement aux belles lois sur les pressions et sur les dilatations observées par Mariotte et Gay-Lussac, et il faut les

chauffer davantage pour leur faire prendre nettement l'allure des gaz.

Aussi MM. Deville et Troost doivent-ils arriver à une température soutenue, supérieure à 1040 degrés, pour déterminer la densité de vapeur du sélénium, non encore constante sous cette forte chaleur.

Le sélénium, frère jumeau du soufre, présente en effet la même anomalie ; à quelques degrés au-dessus de son point d'ébullition, sa vapeur est trois fois plus lourde que ne l'indique la théorie. Cette difficulté n'est pas encore complétement résolue à 1040 degrés ; la molécule, qui doit se briser de façon à devenir trois fois plus légère, comme celle du soufre, n'a pas complétement terminé son travail ; il faut donc produire des températures encore plus élevées.

Pour d'autres, là commencerait la difficulté ; pour M. Deville, là sera le triomphe. C'est en effet le chimiste du feu, et c'est en développant cet amour qu'il a pour la flamme que M. Deville est devenu réellement éloquent dans sa belle leçon de la Société chimique de Paris.

Qu'il emploie l'huile de schiste ou l'essence de térébenthine dans sa lampe-forge, qu'il brûle dans un fourneau très-portatif les escarbilles de coke, et que l'oxygène pur ou l'air atmosphérique soient les agents comburants, par l'ingénieuse disposition de ses appareils, M. Deville arrive à produire des températures extrêmement élevées et dont on n'avait aucune idée ; le platine y fond, le platine y est entré en ébullition, et M. Deville ne désespère pas de pouvoir faire des expériences dans la vapeur de platine comme il en a fait déjà dans celle de cadmium et de zinc. Un savant russe, qui assistait à la séance, M. Jacobi, a obtenu de son gouvernement cent kilogrammes de platine, qu'il met à la disposition de M. H. Deville. Nous verrons plus loin quel parti M. Deville a su tirer de cette facilité accordée à ses travaux[1].

C'est une chimie nouvelle, en effet, que l'étude des réactions qui ont lieu à ces températures extrêmement élevées ; c'est la *chimie bleue*, comme dit M. Deville, qui a observé pour la première fois une teinte bleu azuré succédant dans les fourneaux aux colorations rouges et blanches qu'on y voit habituellement. — L'eau

[1] Voir à la *Chimie appliquée* la métallurgie du platine.

se décompose en ses éléments sous l'effort de cette énorme élévation de température, et bien d'autres corps composés s'y décomposeront de même.

On comprend donc l'enthousiasme que ressent M. H. Deville pour le feu. « Un chimiste qui a un creuset au feu peut s'attendre à tout, a dit M Wöhler, et, quant à moi, je ne saurais trop recommander à mes jeunes confrères qui m'écoutent d'étudier le feu, c'est un sujet encore inexploré, c'est un agent dont la puissance est encore inconnue, et qui donnera beaucoup à celui qui saura le conduire et le faire travailler. On dit que chacun dans ce monde a sa folie ; la mienne, messieurs, c'est le feu ! Rien n'est si beau ! Et quand une fois on a vu les splendeurs d'un vaste foyer dardant de toutes parts ses rayons pénétrants, et lançant dans l'air son panache de flamme, on ne se lasse plus de le regarder, dût-on y perdre les yeux ! »

La séance se termina au milieu des plus vifs applaudissements; M. Deville avait suivi le principe d'Horace :

> ... Si vis me flere, dolendum est
> Primum ipsi tibi...

En parlant de ses longs travaux, des nombreuses luttes dont il était sorti vainqueur, se sentant écouté, soutenu par son auditoire, l'émotion l'avait gagné, puis l'enthousiasme, et il avait su les faire passer dans le cœur de ses auditeurs.

En somme, cette belle leçon, dont nous n'avons pu donner qu'une bien faible idée au lecteur, avait réellement réussi; car, retombé dans la solitude, chacun, plus encouragé, plus ardent à la poursuite de la vérité, sentait ancrée plus avant dans son cœur cette passion exclusive pour la science, sans laquelle rien de grand ne se fait.

P. P. Dehérain.

PHYSIOLOGIE

LES FERMENTATIONS

TRAVAUX RÉCENTS DE M. PASTEUR

La nature des questions que nous avons traitées jusqu'à présent dans l'*Annuaire* nous a permis d'arriver à une conclusion précise, à une formule simple résumant les faits découverts, les théories controversées. Il n'en est plus de même aujourd'hui ; nous écrivons le récit d'une bataille dont le sort n'est pas décidé, nous en suivrons les péripéties et les différents épisodes sans pouvoir encore acclamer le vainqueur. Semblable à l'ancien télégraphe si empêché par le brouillard, qui commençait à transmettre une dépêche intéressante pour l'abandonner bientôt tronquée et incomplète, nous laisserons le lecteur en suspens.

Peut-être pensera-t-on qu'il eût été convenable d'attendre encore, et de n'entreprendre le récit des brillants travaux dont nous allons parler qu'après leur terminaison définitive ; sans donte le lecteur eût eu moins de peine à nous suivre et eût retiré plus de fruit du temps qu'il eût bien voulu nous donner; mais la science n'a pas seulement pour but de mieux connaître le monde extérieur, elle est aussi un mode de philosopher qu'on apprécie d'autant mieux qu'on le voit en action. — On comprend mieux quelle marche suit l'esprit humain à la recherche de la vérité, quand on le peut saisir en plein travail, hésitant au milieu des interprétations, s'efforçant de démêler une cause essentiellement occulte et difficile à pénétrer, que si l'on attend que, l'œuvre terminée, le savant ait le temps de rajuster les plis de son manteau pour paraître en public et exposer dogmatiquement sa découverte.

Peut-être trouvera-t-on de même quelque intérêt à suivre les progrès de cette belle question de la fermentation, à la voir s'éclairer peu à peu par les victoires remportées, encore qu'elle, non plus, ne soit pas arrivée jusqu'à l'Adriatique.

S'il est un phénomène chimique qui touche de près à la vie de chaque jour, c'est à coup sûr la fermentation. — Le pain qui paraît à tous nos repas, le vin, la bière, l'eau-de-vie, sont des produits fermentés ; la transformation de l'amidon des céréales en sucre, du sucre que renferment les raisins, les betteraves, les cannes, ou même le lait, en alcool, sont encore des phénomènes de fermentation. Cette dernière métamorphose ayant lieu spontanément quand on laisse ces substances quelque temps exposées à l'air humide, à une température de 15 ou 20 degrés, les hommes n'ont eu qu'à profiter de ce qui se produisait sous leurs yeux à chaque instant ; aussi aucun peuple ne paraît avoir ignoré l'art de tirer des fruits, ou des céréales, ou du lait, une liqueur spiritueuse.

Le goût des liquides alcooliques est répandu parmi toutes les nations. Toutes éprouvent le besoin de cette excitation favorable d'abord, puis abrutissante, lorsque l'usage dégénère en abus.

Chaque peuple a sa boisson enivrante de prédilection ; aux hommes du Nord il faut la bière, le gin et le wisky ; sous le ciel de feu des tropiques, l'Indien trouve encore plaisir à s'enivrer de rack et de rhum ; le Tartare fait aigrir et fermenter le lait de ses troupeaux ; mieux partagés enfin, les habitants des climats tempérés arrosent leurs fêtes de leurs vins aux saveurs si variées.

Partout, sous les formes les plus diverses, l'alcool est de toutes les fêtes ; il s'asseoit à tous les festins, coule à pleins bords, et la gaieté avec lui. Tous invoquent sa puissance : l'heureux lui demande de donner à sa joie un nouvel élan; le misérable, d'étourdir sa douleur; l'exilé, de peupler sa solitude. — Depuis le vieil Anacréon, tous les poëtes l'ont chanté tour à tour, et l'éloge du vin est aussi ancien que le monde.

Il n'en est pas de même de l'explication du phénomène qui lui donne naissance, et, bien que la fermentation ait été étudiée par nombre de savants, et des plus grands, c'est à peine si nous connaissons dans tous ses détails quelques-uns des phénomènes qu'on peut réunir sous ce titre générique de fermentation.

Leur histoire est une des plus délicates qu'ait rencontrées la science ; elle exige une analyse minutieuse, un travail acharné, une patience à toute épreuve; mais, si le chemin est rude, le but à atteindre est fait pour exciter et soutenir le courage. La fermentation, en effet, se présente partout et sous les aspects les plus contraires; c'est elle que mettent en œuvre le boulanger, le brasseur et le vigneron; mais, au moment où l'on est tenté de bénir ses bienfaits, elle change d'aspect tout à coup, d'alliée devient ennemie, et lance la mort sous une forme d'autant plus terrible qu'elle est insaisissable.

Des effluves morbides s'élèvent silencieusement des marais; la peste, le choléra, planent sur la cité; toutes les maladies contagieuses, germes de fermentations mortelles, se déchaînent sur le monde, s'élancent d'un lieu à l'autre sans ordre, sans règle, frappent au hasard l'enfant et le vieillard, et couchent un à un dans la bière leurs cadavres déjà noircis sous leur puissante étreinte[1].

Le temps n'est pas venu encore où la science, discernant ces germes fatals, saura s'opposer à leurs ravages; quelques fermentations seulement sont connues aujourd'hui, et nous commencerons leur étude par celle de la fermentation alcoolique, que les travaux de M. Pasteur viennent d'éclairer d'un jour tout nouveau.

I

Fermentations alcooliques. — Ses produits.

Tout le monde a entendu prononcer le nom de ce chimiste célèbre, Stahl, qui, tout en systématisant la science, en la concentrant pour la première fois en un corps de doctrines, eut le malheur de la fourvoyer dans une mauvaise direction où, errante, elle resta près d'un siècle avant de revenir au droit chemin de la méthode expérimentale.

[1] La plupart des physiologistes admettent bien que les maladies qui se transmettent par *contact* sont dues à l'inoculation de germes de fermentations spéciales; ils pensent aussi que les miasmes qu'exalent les marais peuvent être encore de ces germes de fermentations; mais un grand nombre d'entre eux se refusent à cette explication pour d'autres maladies (rougeole, scarlatine, etc.), qu'ils attribuent plutôt à une modification encore inconnue des conditions atmosphériques.

Malgré sa mauvaise méthode, Stahl a émis sur un grand nombre de questions, et notamment sur la fermentation, des idées remarquablement justes, élevées et propres à faire progresser la science; il compare ce phénomène à une combustion; il voit dans le ferment qui agit sur la matière fermentescible pour déterminer sa transformation un phénomène analogue à celui de la combustion, dans laquelle une étincelle communique le feu à une masse combustible. Le feu, d'après Stahl, et cette idée est remarquablement avancée, est dû au mouvement d'un fluide spécial : le phlogistique qui s'échappe des corps combustibles au moment de leur combustion ; ainsi le phlogistique devient incandescent seulement à l'instant où ses molécules éprouvent un vif mouvement d'oscillation. En repos, il n'est pas plus le feu que l'air n'est le son lorsque ses molécules ne sont pas en vibration.

Pour Stahl, disons-nous, le phlogistique était mis en mouvement par l'air et un corps déjà en combustion, c'est-à-dire dont les molécules étaient elles-mêmes en vibration, et la fermentation devenait un phénomène exactement du même ordre; il fallait pour qu'elle eût lieu, pour panifier la farine par exemple, mettre ses molécules en mouvement à l'aide d'autres molécules déjà en vibration. C'était là l'explication de l'utilité du *levain*. Enfin, de même que la présence de l'air est nécessaire à la combustion, elle l'est à la fermentation. Stahl partageait cette opinion avec Van Helmont, qui déjà l'avait émise plusieurs années auparavant.

La fermentation était une question trop importante pour que Lavoisier pût la négliger au moment où il entreprit sa grande réforme chimique; aussi consacre-t-il à son étude tout un chapitre de son *Traité de chimie*.

Lisons les premières pages de ce chapitre; elles nous montreront nettement le point de départ réellement scientifique des recherches dont nous allons présenter les résultats : « *De la décomposition des oxydes végétaux par la fermentation vineuse.* » Tout le monde sait comment se fait le vin, le cidre, l'hydromel, et, en général, toutes les boissons fermentées spiritueuses. On exprime le jus des raisins et des pommes, on étend d'eau ce dernier, on met la liqueur dans de grandes cuves et on la tient dans un lieu dont la température soit au moins à 10° du thermomètre de Réaumur.

« Bientôt il s'y excite un mouvement rapide de fermentation; des bulles nombreuses d'air viennent crever à sa surface, et, quand la

fermentation est à son plus haut période, la quantité de ces bulles est si grande, la quantité de gaz est si considérable, qu'on croirait que la liqueur est sur un brasier ardent qui y excite une violente ébullition. Le gaz qui se dégage est de l'acide carbonique, et, quand on le recueille avec soin, il est parfaitement pur et exempt du mélange de toute autre espèce d'air ou de gaz. Le suc des raisins, de doux et sucré qu'il était, se change par cette opération en une liqueur vineuse qui, lorsque la fermentation est complète, ne contient plus de sucre et dont on peut retirer par distillation une liqueur inflammable, qui est connue dans le commerce et dans les arts sous le nom d'esprit-de-vin...

« Cette opération est une des plus frappantes et des plus extraordinaires de toutes celles que la chimie nous présente, et nous avons à examiner d'où vient le gaz acide carbonique qui se dégage, d'où vient l'esprit inflammable qui se forme, et comment un corps doux, un oxyde végétal, peut se transformer ainsi en deux substances si différentes, dont l'une est combustible et l'autre éminemment incombustible. On voit que, pour arriver à la solution de ces deux questions, il fallait d'abord bien connaître l'analyse et la nature du corps susceptible de fermenter et les produits de la fermentation ; car rien ne se crée, *ni dans les opérations de l'art, ni dans celle de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications.*

« C'est sur ce principe qu'est fondé tout l'art de faire des expériences en chimie ; on est obligé de supposer dans toutes une véritable égalité ou équation entre les principes du corps qu'on examine et ceux qu'on en retire par l'analyse. Ainsi, puisque du moût de raisin donne du gaz acide carbonique et de l'alcool, je puis dire que le *moût de raisin = acide carbonique + alcool.* »

Fait étrange ! Lavoisier déduit cette loi admirable, sur laquelle repose toute la chimie, d'analyses du sucre, de l'acide carbonique et de l'alcool, entreprises avec les méthodes très-imparfaites qu'il possédait, et par suite extrêmement défectueuses. C'est seulement à cause d'erreurs qui se compensent, qu'il arrive à établir l'égalité entre le poids des matières employées et le poids des substances obtenues. — Ses analyses sont tout à fait fautives, l'erreur est

partout, elle est même dans l'équation finale, comme on l'a démontré récemment, et c'est précisément sur ces mauvaises analyses que Lavoisier base une loi admirablement juste et des plus grandes que l'homme ait jamais découvertes : « Rien ne se crée, rien ne se détruit. » Elle avait été entrevue déjà par Jean Rey, publiée, puis oubliée, comme les autres idées si avancées que renferment les *Essais*[1].

Il semble qu'il y ait dans les sciences deux périodes différentes. Dans la première, époque de création, il faut voir l'ensemble des phénomènes, les étudier de haut, sans s'arrêter aux détails, sans se laisser dominer par les causes perturbatrices, de façon à esquisser largement, à grands traits, le caractère des phénomènes; c'est à cette période qu'il faut des hommes de génie, doués de l'instinct scientifique, sachant mettre le doigt sur le nœud d'une question, et arrivant jusqu'à la vérité, malgré les mauvais chemins qu'ils ont suivis pour l'atteindre.

Plus tard arrive l'heure de la précision, où les esprits exacts, minutieux, adroits, sceptiques, reviennent sur la grande ébauche des prédécesseurs, reprennent les parties négligées, incomplètes, montrent les fautes, les erreurs, découvrent les détails et démontrent ce que le génie des premiers avait imposé.

Quand Mariotte, quand Gay-Lussac découvrirent les belles lois auxquelles obéissent les gaz soumis à des pressions ou à des températures variables, ils esquissèrent l'ensemble du phénomène, et, bien que leurs expériences fussent jusqu'à un certain point inexactes et grossières, comme le montrèrent plus tard Rudberg et M. V. Regnault, il n'en reste pas moins certain que les lois qu'ils ont données sont vraies, et que, si certains gaz ne les suivent pas strictement, c'est que ce ne sont point des gaz parfaits, et qu'ils affectent encore jusqu'à un certain point l'allure des liquides qu'ils peuvent facilement donner par leur condensation.

Les expériences de Lavoisier sur la fermentation sont de même inexactes; mais il avait entrevu depuis longtemps cette propriété si importante de la matière, d'être indestructible; sa pensée s'arrêtait sans cesse sur la nécessité où se trouve le chimiste de toujours retrouver, quelles que soient ses métamorphoses, toute la matière qu'il a employée; tout imprégné de cette idée, cherchant

[1] Voir l'*Histoire des sciences*. — DEUX CHIMISTES OUBLIÉS.

à la formuler, il croit en saisir un exemple dans la fermentation, et l'émet, à ce propos, bien qu'elle ne s'y applique pas dans la mesure où il l'entendait [1].

Malgré ces travaux, on était loin d'avoir sur la fermentation des opinions assez précises pour que la question fût abandonnée, et au commencement du siècle l'Académie la mit au concours. Ce fut là ce qui décida le Mémoire de Thénard, qui renferme plusieurs expériences intéressantes; un peu plus tard, Gay-Lussac, s'occupant des procédés employés par Appert pour conserver les matières animales, fut conduit à reprendre l'étude de la fermentation.

Appert avait montré qu'il est possible de conserver pendant fort longtemps des matières animales, à la condition de les mettre complétement à l'abri de l'air; il y arrivait en développant dans les vases où les matières doivent être enfermées une quantité suffisante de vapeur d'eau pour chasser complétement l'air qui s'y trouvait, puis en fermant hermétiquement les vases pendant cette vive ébullition. L'expérience entreprise avec un des liquides qui se corrompent le plus rapidement, avec l'urine, avait de même parfaitement réussi.

Frappé de ces résultats et des analogies qui existent entre les fermentations putrides et les fermentations alcooliques, Gay-Lussac voulut chercher si l'air était oui ou non nécessaire à la fermentation du moût de raisin; l'opinion commune à Stahl et à Van Helmont que nous avons citée était complétement oubliée, on considérait la question comme neuve, et de nouvelles expériences étaient jugées nécessaires.

On savait bien que, pour déterminer la fermentation alcoolique, il faut le concours d'une matière sucrée et d'un ferment particulier de matière animale. « Les circonstances favorables à la fermentation, ajoute Gay-Lussac, ont été observées depuis longtemps, et on

[1] Les fermentations de la farine pour donner le pain, de l'orge pour donner la bière, sont à peu près analogues à celles du vin, à cette différence près qu'il est nécessaire, pour avoir une fermentation régulière, d'ajouter une matière déjà en fermentation, du levain dans un cas, de la levûre de bière dans l'autre; mais l'amidon de la farine et de l'orge commence par donner du sucre, puis de l'alcool et de l'acide carbonique, et les produits principaux sont identiques.

Comme on retrouve souvent dans ces opérations la levûre qu'on a employée, on admit implicitement que la matière du ferment n'entrait pas en réaction et que l'équation de Lavoisier était exacte.

paraît d'accord aujourd'hui qu'elle peut commencer et continuer sans le secours d'aucun corps étranger, et particulièrement du gaz oxygène. On s'est assuré, en effet, que lorsqu'on introduit de la levûre de bière[1] avec du sucre et de l'eau dans un vase qu'on remplissait entièrement, la fermentation s'y développait de la même manière qu'à l'air libre, et de là on a conclu que la fermentation du moût de raisin, des fruits sucrés et des céréales devait s'exécuter comme celle du sucre et de la levûre de bière sans le contact de l'oxygène. » Pour s'assurer qu'il en est ainsi, Gay-Lussac exécuta cette fameuse expérience, si souvent citée depuis, dont les résultats paraissent tellement nets, qu'ils doivent entraîner la conviction, bien qu'ils soient cependant des plus difficiles à analyser complétement.

Une cloche de verre remplie de mercure est retournée sur ce liquide, on y fait pénétrer quelques grains de raisin parfaitement mûrs, puis avec une baguette de verre à tête aplatie on écrase ces grains sans laisser entrer d'air ; le haut de la cloche est dès lors occupé par un liquide fermentescible dans lequel nagent les pulpes et les enveloppes des grains ; aucune fermentation ne se développe cependant ; mais si, après une longue attente sans résultat, on fait entrer une bulle d'air ou d'oxygène, on ne tarde pas à voir le liquide se troubler, de l'acide carbonique se dégage, et de l'alcool peut être isolé du liquide. Gay-Lussac n'hésita pas à conclure que l'oxygène est nécessaire à la fermentation du moût de raisin, est nécessaire au moins pour la commencer, et tout le monde admit la conclusion qui paraissait ressortir si évidemment de cette expérience ; — on admit même que Gay-Lussac avait le premier signalé cette nécessité de l'oxygène dans l'accomplissement du phénomène. Il y a quelques années seulement que M. Chevreul a rappelé les droits complétement méconnus de Van Helmont et de Stahl à la priorité de cette prétendue découverte, qui, comme nous le verrons, n'en est pas une, au moins quant à l'interprétation que Gay-Lussac en avait tirée.

En 1815, il revint encore sur la question de la fermentation, dans le but de préciser les produits obtenus, et de chercher le rap-

[1] La levûre de bière est cette matière solide, jaune, de saveur amère, d'odeur analogue à celle de la bière, qui est entraînée hors des tonneaux au moment où on transvase la bière des grandes cuves où la première fermentation a eu lieu dans les tonneaux plus petits où elle doit être conservée. Nous reviendrons plus loin avec beaucoup de détails sur la véritable nature de la levûre de bière.

port qui existait entre eux et le sucre employé; les résultats, insérés dans une lettre à M. Clément, ne sont pas complétement exacts; on sent que Gay-Lussac, frappé des admirables résultats qu'il a obtenus dans la recherche des lois que suivent les substances gazeuses en se combinant les unes avec les autres, tend à généraliser les rapports simples qu'il a trouvés, en forçant les chiffres, et en les interprétant avec trop de liberté; s'appuyant sur les expériences antérieures et sur la conclusion admise par Lavoisier et qu'avait cru vérifier Thénard, à savoir, que l'alcool et l'acide carbonique doivent reproduire le sucre, il résume ainsi son travail : « Si l'on suppose maintenant que les produits que fournit le ferment puissent être négligés relativement à l'alcool et à l'acide carbonique, qui sont les seuls résultats sensibles de la fermentation, on verra, en comparant la composition du sucre avec celle de l'alcool, que, pour transformer le sucre en alcool, il faut lui enlever un volume de vapeur de charbon et un volume de gaz oxygène, qui forment, en se combinant, un volume de gaz acide carbonique.

« Si l'on réduit maintenant les volumes en poids, on trouvera qu'étant données 100 parties de sucre, il s'en convertit pendant la fermentation 51,34 en alcool et 48,66 en acide carbonique, ou, en nombres ronds, parties égales. »

Ces résultats traduisaient régulièrement en nombres l'équation théorique de Lavoisier, ils présentaient cependant des inexactitudes de plus d'un genre; l'une fut remarquée, en 1828, par MM. Dumas et P. Boulay. Il n'est pas possible, en effet, d'établir l'équivalence entre le sucre de canne, que Gay-Lussac avait employé dans ses expériences, et l'alcool et l'acide carbonique produits; pour que l'équivalence existe, il faut forcément que le sucre de canne absorbe une certaine quantité d'eau. C'est ce que démontra expérimentalement M. Dubrunfaut en 1830; il vit que le sucre de canne, avant de fermenter, se transformait en sucre de raisin ou glucose, qui en diffère, en effet, par une certaine quantité d'eau; de là l'habitude où l'on est, dans les distilleries de betteraves, d'ajouter une certaine quantité d'acide sulfurique au jus renfermant le sucre cristallisable ordinaire pour le transformer plus rapidement en glucose et faciliter ainsi la fermentation[1].

[1] Les personnes quelque peu familiarisées avec les notations qu'emploient les chimistes comprendront que le sucre de canne $C^{12}H^{11}O^{11}$ fixe d'abord

A partir de ce moment, les phénomènes purement chimiques de la fermentation alcoolique paraissent parfaitement fixés, et tout le monde admet que le sucre se transforme nettement en alcool et en acide carbonique. Il n'en est pas ainsi cependant, et, dans un mémoire récent, M. Pasteur a démontré que les produits de la fermentation alcoolique étaient plus nombreux qu'on ne l'avait cru jusqu'alors.

Ce chimiste, déjà connu par des travaux d'une rare élégance sur le rapprochement qui existe entre les propriétés optiques et la forme cristalline des sels fournis par certains acides organiques, notamment des acides tartriques, commença, en 1858, la publication d'une série de recherches extrêmement intéressantes sur les fermentations, qui le conduisirent bientôt à l'étude des générations dites spontanées.

En étudiant avec persévérance la fermentation alcoolique, en s'acharnant sur cette question, M. Pasteur est arrivé à plusieurs résultats des plus inattendus.

L'équivalence entre le sucre qui fermente et l'alcool et l'acide carbonique produits n'est jamais absolument exacte ; il se forme toujours, en outre, une certaine quantité d'un acide qu'on peut extraire plus facilement du succin ou d'autres fermentations d'acide succinique, en même temps qu'on obtient une petite quantité de glycérine, alcool différent de l'alcool ordinaire, qui forme la base de tous les corps gras, et dont l'emploi industriel commence à se répandre [1].

Ainsi, dans toute fermentation alcoolique, il se produit de l'alcool ordinaire et de l'acide carbonique en grande quantité ; puis, en proportion beaucoup plus faible, de l'acide succinique et de la glycérine. La constance de ces deux derniers produits dans toutes

de l'eau HO pour devenir $C^{12}H^{12}O^{12}$ glucose, et que c'est ce glucose qui, d'après la théorie admise jusqu'à présent, se dédouble en alcool et en acide carbonique, suivant l'équation ci-dessous :

$$\underset{\text{glucose ou sucre de raisin.}}{C^{12}H^{12}O^{12}} = \underset{\text{alcool.}}{2(C^4H^6O^2)} + \underset{\text{acide carbonique.}}{4CO^2}$$

[1] Lavoisier avait très-bien remarqué, dans le mémoire que nous avons cité, qu'il se formait un acide pendant la fermentation, mais il avait admis que c'était de l'acide acétique, et les autres observateurs, en constatant aussi la présence d'un acide produit pendant la fermentation, crurent qu'il provenait de l'altération de l'alcool lui-même et qu'il n'était qu'accidentel.

les fermentations alcooliques étudiées par M. Pasteur ne lui permet pas de supposer qu'ils soient accidentels. Il est singulier que ces deux matières aient échappé jusqu'à présent à l'attention des chimistes, car elles forment une partie assez notable du résidu sec que laissent les vins soumis à l'évaporation ; dans les analyses de vins naturels qu'a exécutées M. Pasteur, on trouve que sur 20 à 25 grammes d'extrait solide que laisse un litre de vin dans lequel la fermentation a détruit tout le sucre, il existe 7 grammes environ de glycérine et 1,5 d'acide succinique. « Plus du tiers, souvent près de la moitié des matériaux solides du vin, dit M. Pasteur, et des plus importants sans contredit, étaient donc inconnus jusqu'à ce jour. Tout le monde sera porté à attribuer à la glycérine, principe essentiel des matières grasses, une part utile dans les propriétés bienfaisantes du vin... L'acide succinique, malgré sa proportion relativement faible, est loin d'être négligeable. La saveur de cet acide a quelque chose d'étrange, et, en mélangeant à l'eau de l'alcool, de la glycérine et de l'acide succinique dans les proportions de la fermentation, on est surpris de sentir à quel degré ces mélanges rappellent le vin. On acquiert ainsi la conviction que la saveur propre à cette boisson, dans ce qu'elle a de plus *sui generis*, est due pour une part essentielle à l'acide succinique. »

Tout le monde a entendu raconter l'histoire de ce débitant de vin falsifié qui réclamait contre la condamnation que lui avait attirée l'analyse d'un chimiste. Celui-ci, impatienté, déclara que non-seulement le vin était falsifié, mais que même il n'y était pas entré un grain de raisin. « Et comment pouvez-vous savoir cela, monsieur, s'il vous plaît ? — Eh, parbleu ! il n'y a pas, dans ce que vous avez l'audace d'appeler du vin, un atome de crème de tartre, qui se trouve cependant dans tous les vins ou dans la lie qu'ils abandonnent par le repos. — Merci, monsieur, répondit le fraudeur, une autre fois j'en mettrai. »

Ils devront donc, ces commerçants déloyaux, qui finiront par ruiner la réputation d'un des produits les plus recherchés de notre France, ajouter à leurs mélanges de l'acide succinique et de la glycérine, car sans cela le chimiste, en recherchant ces matières, pourra reconnaître à leur absence ou à leur proportion minime cette falsification si commune des vins qui consiste dans l'addition d'eau et d'alcool ; elle deviendra ainsi encore plus facile à démontrer que par le passé.

Tels sont les résultats nouveaux que M. Pasteur a obtenus, quant aux *produits*, de la fermentation alcoolique; il se trouve que les résultats de cette opération sont beaucoup moins simples qu'on ne l'avait jugé d'abord; mais, bien qu'on puisse regretter la netteté qu'avait la transformation admise jusqu'ici, il n'est pas possible de la conserver, puisque des faits bien constatés lui sont contraires.

Tous les chimistes n'admettent pas cependant avec M. Pasteur que la glycérine et l'acide succinique soient des produits *nécessaires* de la fermentation alcoolique. M. Berthelot, notamment, pense que ces deux matières sont dues en général à des fermentations simultanées à la fermentation alcoolique.

Cette dernière hypothèse serait vérifiée s'il était possible de prévenir complétement la formation des produits secondaires, c'est-à-dire obtenir une quantité d'alcool et d'acide carbonique représentant le sucre employé; et, d'autre part, obtenir séparément les produits secondaires en dehors des produits principaux.

N'y a-t-il plus rien à rechercher quant aux produits obtenus dans la fermentation du moût de raisin? Évidemment si. D'où vient l'acide tartrique qui entre dans la crème de tartre? comment se produisent des éthers qui donnent aux vins leur bouquet si varié? Tout cela est inconnu encore. Au reste, la fermentation du moût de raisin n'a pas été le sujet spécial du travail de M. Pasteur: il étudiait la fermentation alcoolique en général, et il n'a porté son attention sur les vins que pour y trouver une vérification de ce que lui avait donné la fermentation du sucre de canne.

II

Nature du ferment alcoolique. — Explication du phénomène de la fermentation.

Nous connaissons maintenant les produits qu'on obtient dans cette opération; mais il nous reste un point important à rechercher. Quel est ce ferment, cette levûre de bière qui détermine la transformation du sucre en alcool, acide carbonique, glycérine et acide succinique? Quelle est sa nature et comment agit-il?

Nous avons vu plus haut quelle avait été à ce sujet l'opinion de Sthal; pour lui, les molécules en mouvement, en vibration du ferment, étaient susceptibles de communiquer ce mouvement aux

molécules de certaines matières avec lesquelles il était mis en contact.

Cette explication paraît avoir été admise longtemps par les auteurs, sans qu'au reste ils aient particulièrement précisé leur manière de voir à ce sujet; on observa bien que la levûre de bière paraissait être de nature animale, parce qu'elle renfermait de l'azote, qu'on a cru longtemps caractériser les tissus d'origine animale; on savait bien que dans certaines circonstances la levûre de bière s'épuisait, n'était plus capable de continuer son action; que dans d'autres, au contraire, elle augmentait de poids et d'activité après la fermentation accomplie; mais on n'avait guère d'idée nette sur sa nature avant les observations microscopiques de Desmazières, et surtout de M. le baron Cagniard de Latour, mort récemment.

En étudiant avec soin, en 1837, la levûre de bière pendant la fermentation qu'il suivait dans une brasserie parisienne, M. Cagniard de Latour vit que ce ferment était formé d'un amas de petits corps globuleux dont le plus grand diamètre est d'environ $\frac{1}{200}$ de millimètre; ils sont susceptibles de se développer, de se reproduire; ils sont conséquemment organisés, et Cagniard de Latour fut forcé d'admettre que la levûre de bière n'est pas une substance simplement organique ou chimique comme on l'avait supposé jusqu'alors.

Aussitôt, en effet, qu'on met sous le microscope quelques globules de levûre de bière dans une dissolution de sucre, on voit ces globules s'entourer de bulles d'acide carbonique qui crèvent bientôt; en même temps les globules se gonflent sur un de leurs points, et bientôt un nouveau globule transparent ne tarde pas à paraître; sur celui-ci un nouveau bourgeon naît, se développe, émet bientôt un ou deux bourgeons semblables à lui : la levûre devient rameuse, en un mot, elle se multiplie par bourgeonnement; d'autre part, elle est incapable de locomotion; c'est donc un végétal.

Enfin Cagniard de Latour ajoutait: « Les globules ne semblent agir sur une dissolution de sucre qu'autant qu'ils sont en état de vie : d'où l'on peut conclure que c'est très-probablement par quelque effet de leur végétation qu'ils dégagent de l'acide carbonique de cette dissolution et la convertissent en une liqueur spiritueuse. »

C'était là, comme on voit, une interprétation tout à fait nouvelle du fait de la fermentation, qui d'action d'entraînement devient acte physiologique, conséquence de la vie d'un être organisé; le bota-

niste Turpin, qui avait été chargé par l'Académie des sciences de faire un rapport sur le mémoire de Cagniard de Latour, s'empare bientôt du sujet, confirme par de nombreuses observations les conclusions précédentes, les généralise et les affirme de la façon la plus positive.

« Par fermentation, on doit entendre association composée d'eau, de corps vivants, se nourrissant et se développant par absorption de l'une des parties du sucre, et en isolant soit l'alcool, soit l'acide acétique; action toute physiologique qui commence et finit avec l'existence des infusoires végétaux ou animaux qui la déterminent, dont la vie ne cesse que par l'épuisement total de la matière saccharine ou nutritive. C'est alors que, mourant d'inanition et ne pouvant plus se soutenir dans l'épaisseur ou à la surface du liquide, on les voit se précipiter les uns sur les autres, et s'entasser au fond du vase sous forme de lie mucilagineuse, de sédiment ou de levûre. »

En admettant pour un instant l'interprétation du baron Cagniard de Latour et de Turpin, nous rencontrons une nouvelle difficulté. Tout le monde sait que le moût de raisin ou d'orge fermente spontanément, sans qu'on y ajoute aucun ferment; si cependant la levûre alcoolique est un végétal, il faut admettre ou bien que les tissus du raisin le renferment déjà à l'état de germes qui n'ont plus qu'à se développer, ou bien encore que ces germes proviennent de l'air, où nous ne pouvons pas les distinguer à cause de leur petitesse excessive, ou qu'enfin il y a eu génération spontanée.

C'est la première interprétation qu'admet Turpin: « Les études microscopiques que nous avons faites du périsperme de l'orge nous ont amené à reconnaître que les très-petits globules de la fécule, et peut-être les nombreux globulins échappés des gros globules crevés, étaient la source ou l'origine de la levûre de bière.

« On peut demander ici comment les globules séminulifères de la levûre ont pu n'être pas détruits par l'ébullition du moût, et pendant lequel temps, au contraire, ils se sont multipliés. Le fait existant ne nécessite point de réponse [1]. Cependant nous dirons que les séminules de champignons que l'on fait bouillir n'en sont nullement altérées, et qu'étant ensuite versées avec l'eau sur le territoire qui leur convient, elles y germent parfaitement et abondamment. »

[1] Ceci paraîtra avec raison un peu bien absolu.

Et quand plus loin il veut expliquer l'utilité de l'addition de la levûre pour activer la fermentation pendant la fabrication de la bière, il ajoute : « Cette addition de levûre, qui consiste en des milliards de séminules, est un véritable ensemencement dans un territoire particulier, qui est le moût. »

La voie nouvelle était donc parfaitement tracée ; la fermentation est un acte physiologique. Turpin est affirmatif, ses observations microscopiques paraissent sérieuses [1], et cependant ses conclusions ne sont pas même discutées ; quand, quelques années plus tard, Liebig, Berzélius, Mitscherlich, écrivent sur la fermentation, ils ne font nulle mention des travaux de Turpin, et ils reviennent complétement à l'ancienne explication.

« Si la levûre de bière, dit en effet M. Liebig, est réellement un corps en fermentation putride, qui n'excite la fermentation du sucre qu'en vertu de sa propre décomposition, il faut que toutes les matières qui se trouvent dans le même état produisent le même effet sur le sucre. Ceci a réellement lieu : la chair musculaire, l'urine, la gélatine animale, le blanc d'œuf et toutes ces matières provoquent la fermentation de l'eau sucrée, lorsqu'elles tombent elles-mêmes en putréfaction. La levûre, privée de ses propriétés actives par des lavages réitérés, reprend cette faculté lorsqu'on l'abandonne à elle-même pendant quelque temps dans un endroit chaud où elle puisse entrer en fermentation putride.

« La levûre de bière, et en général toutes les matières animales et végétales qui éprouvent la fermentation putride, reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elles se trouvent elles-mêmes ; elles se comportent donc de la même manière que le peroxyde d'hydrogène avec l'oxyde d'argent [2]. Le mouvement qui, par la perturbation de l'équilibre, s'imprime à leurs propres élé-

[1] Nous verrons plus loin cependant que Turpin a commis plusieurs erreurs.

[2] Cette comparaison est très-souvent employée par les partisans de la théorie du *mouvement communiqué*. Voici en quoi consiste l'expérience à laquelle ils font allusion. Le bioxyde d'hydrogène ou eau oxygénée est un corps éminemment instable, qui se décompose très-facilement, même à la température ordinaire ; si on le met en contact avec de l'oxyde d'argent, non-seulement le bioxyde d'hydrogène se décompose lui-même, mais il détermine également la décomposition de l'oxyde d'argent en argent et oxygène ; il semble y avoir entraînement du mouvement de décomposition communiqué d'un corps à l'autre.

ments, se communique également aux éléments des corps qui se trouvent en contact avec elles. »

Telle fut l'opinion qui prévalut ; elle est infiniment plus vague, moins précise que la première, mais elle était signée d'un nom qui fait autorité, et on enseigna dans les ouvrages que la levûre était un être organisé en voie de décomposition, qui, par sa décomposition même, était susceptible d'amener la fermentation, comme toutes les autres matières en putréfaction ; un fait, toutefois, aurait dû mettre en éveil les partisans de cette théorie, c'est que Turpin, en examinant les produits de la fermentation du sucre sous l'influence du blanc d'œuf, y avait encore rencontré des globules de levûre de bière dont la présence n'était probablement pas fortuite.

Tel était l'état des esprits quand M. Pasteur revint à la charge, et, après s'être fait une conviction par une longue étude, très-minutieuse et très-approfondie, après avoir envisagé la question sous les points de vue les plus variés, commença d'accumuler notes sur mémoires pour faire revenir à l'opinion déjà émise par Cagniard de Latour et Turpin.

Il nous est impossible de le suivre pas à pas, au milieu du nombre considérable de faits qu'il a enregistrés ; mais nous chercherons dans ses nombreuses communications les arguments les plus décisifs en faveur de la thèse qu'il a soutenue.

Pour démontrer que la levûre de bière est un végétal, il nous faudra prouver : 1° que ce végétal provient toujours d'un germe ; que toutes les fois que nous empêcherons l'arrivée d'un germe dans un liquide susceptible de le nourrir, la fermentation n'aura pas lieu, et 2° que ce végétal peut vivre et se développer s'il rencontre les conditions générales de nutrition des végétaux.

Or des expériences nombreuses, dont les plus décisives appartiennent à M. Boussingault[1], démontrent que, pour qu'un végétal puisse suivre toutes les phases de son existence normale, il faut qu'il rencontre dans le territoire où il se développera de l'humidité, des matières azotées, des matières minérales, notamment des phosphates, enfin des matières carbonées. Or M. Pasteur est arrivé à obtenir une fermentation parfaitement régulière, en mettant dans de l'eau ordinaire un sel ammoniacal comme matière azotée, des phosphates, du sucre, et enfin une trace pres-

[1] Voir à l'*Agriculture, la Terre arable.*

que impondérable de levûre, une masse humide grosse comme une tête d'épingle; bientôt la fermentation se développe, l'acide carbonique se dégage, l'alcool se produit ainsi que la glycérine et l'acide succinique, et si, on examine au microscope la masse solide qui se dépose au fond du vase, on la trouve formée d'une masse de globules qui, par leur développement, leur vigueur, annoncent qu'ils se sont trouvés dans les conditions normales de leur existence.

Ainsi la levûre semée dans ce liquide, y rencontrant tout ce qui est nécessaire à son développement, y végète et détermine pendant son existence la fermentation, qui paraît dès lors en devenir une conséquence. Cette expérience décisive éclaire tout à coup une foule de faits mal compris jusqu'alors; presque toutes les matières azotées en putréfaction peuvent exciter la fermentation... Eh! sans doute, les matières azotées donnent naissance, par leur décomposition, à des sels ammoniacaux qui peuvent servir d'aliments aux petits globules de levûre de bière qui ne tardent pas à se développer dans le sein de la liqueur après s'y être introduits, comme nous le verrons plus loin.

On trouve dans la production de la bière une quantité de levûre de bière plus grande que celle qu'on a employée... Sans doute encore n'y a-t-il pas dans une infusion d'orge germée tous les éléments nécessaires à la végétation : matière capable de servir à l'alimentation de la plante, phosphate en dissolution, sucre enfin à décomposer. La levûre de bière, en ce cas, se multiplie; en sera-t-il de même dans une eau sucrée pure? non; la levûre vivra pendant un certain temps aux dépens des matières azotées qu'elle renferme, avec lesquelles elle est mélangée; mais bientôt, cette quantité épuisée, les globules ne se trouvent plus dans les conditions normales, ils ont fixé tout l'azote qu'ils pouvaient absorber, ils meurent d'inanition, suivant l'expression de Turpin, et la levûre est dite épuisée.

Ainsi les globules sont susceptibles de fixer l'azote que renferment les globules mères; ils sont même susceptibles de transformer en sucre et de déterminer la fermentation de la cellulose qui forme l'enveloppe de ces globules mêmes; la végétation se poursuit d'un être à l'autre, et les tissus des anciens semblent servir d'aliments aux plus jeunes. Il en est ainsi dans les *végétations limites*, qu'a souvent obtenues M. Boussingault, en faisant ger-

mer et développer des graines dans des sols absolument stériles : la plante chétive, étiolée par manque de nourriture, puise dans ses premières feuilles de quoi fournir aux suivantes, tellement qu'un bourgeonnement est toujours précédé d'une flétrissure.

Les conditions de vie des globules sont donc identiques avec celles des végétaux ; mais un végétal ne peut se développer qu'autant qu'elle y a été semée : si une plante s'épanouit en un lieu quelconque, c'es tqu'une graine, un germe y a été déposé. En suivant les nombreuses communications que M. Pasteur a adressées à l'Académie, nous allons voir que pour lui, en effet, il y a fermentation toutes les fois qu'ostensiblement ou d'une façon cachée au contraire, des globules de levûre de bière pénètrent dans un liquide sucré.

Comme la plupart des naturalistes, M. Pasteur est donc l'ennemi de la génération spontanée, et, en étudiant les fermentations, en voulant rechercher dans l'air les germes capables de développer le végétal ferment, il a été conduit à varier considérablement ses essais, pour rencontrer également dans l'air les graines microscopiques de toutes les végétations parasites que nous voyons se développer si abondamment sur toutes les matières putrescibles[1].

Des essais entrepris depuis longtemps, notamment par Schwann, avaient déjà montré que ces germes sont contenus dans l'air, et que si on les empêche de pénétrer dans les liquides les plus faciles à altérer, ceux-ci se conservent. Il est impossible, par exemple, d'obtenir une fermentation si on ne laisse arriver dans un ballon renfermant un liquide fermentescible d'où l'air a été chassé, que de l'air chauffé au rouge et dans lequel tous les germes sont tués; dans ce cas, nous le répétons, l'expérience est positive et capitale, il n'y a pas de fermentation, pas de putréfaction. M. Pasteur a varié l'expérience de mille façons différentes, il place dans un ballon un liquide sucré, des phosphates, un sel ammoniacal, toutes les matières propres à nourrir les germes de la levûre de bière ; il porte le tout à l'ébullition, l'air commun est chassé par la vapeur, et les germes qui se trouvent dans le liquide sont tués ; avant que le liquide se refroidisse, on met le ballon en contact avec un long

[1] Les opinions des naturalistes paraissent fixées sur cette question ; cependant la génération spontanée compte des partisans, notamment M. Pouchet de Rouen, et MM. Joly et Ch. Musset, qui sont revenus récemment sur ce sujet devant l'Académie des sciences.

tube renfermant du *coton-poudre*. La vapeur se condense, le vide se fait peu à peu dans le ballon, et l'air se précipite à travers le tube pour venir combler ce vide; mais le coton va retenir les germes au passage, l'air qui passera sera filtré, purifié; il arrive au contact du liquide, pas de fermentation, pas de moisissure. La voulez-vous faire paraître? prenez un peu de ce coton et jetez-le dans le liquide, la fermentation a lieu; voulez-vous aller plus loin, et démontrer, si toutes ces preuves ne vous suffisent pas, que ce sont bien les germes retenus par le coton qui ont déterminé cette fermentation? prenez un peu de ce coton-poudre, et dissolvez-le dans l'éther, où il disparaît rapidement; sur la lame de verre où vous avez fait la dissolution, le microscope vous révélera la présence d'une foule de germes différents, capables de produire ces végétaux microscopiques qui, suivant leur nature, déterminent diverses fermentations en développant diverses moisissures.

C'est donc voyageant dans l'air que se rencontrent ces globules, ces germes causes des fermentations; une objection se présente cependant : si notre air en est assez chargé pour qu'ils s'y rencontrent partout, ils doivent former alors un brouillard dans notre atmosphère. Il n'en est pas tout à fait ainsi, et M. Pasteur a démontré encore que, bien qu'ils soient très-abondants, ils ne se rencontrent pas toujours partout; ainsi, en enfermant des matières fermentescibles dans des ballons de verre, puis en les ouvrant tous le même jour au même endroit pour y faire pénétrer l'air commun, on remarque une fermentation dans certains cas, et point dans d'autres.

Nous citerons un passage d'une des communications les plus curieuses de M. Pasteur; outre que les précautions dont s'entoure l'observateur entraînent la conviction, le récit est des plus intéressants.

« J'ai l'honneur, disait M. Pasteur au mois d'octobre 1860, de déposer sur le bureau de l'Académie soixante-treize ballons remplis au tiers d'eau de levûre de bière filtrée limpide, liquide fort altérable, comme on le sait, car il suffit de l'exposer deux ou trois jours au plus à l'air ordinaire pour la voir donner naissance à de petits infusoires ou à des mucédinées diverses[1].

[1] Les mucédinées sont ces moisissures verdâtres qui se développent si fréquemment sur les matières organiques exposées à l'air, tout le monde les a vues sur la *colle de pâte*.

« Vingt de ces ballons ont reçu de l'air dans la campagne assez loin de toute habitation, au pied des hauteurs qui forment le premier plateau du Jura. Vingt autres ont été ouverts sur l'une des montagnes du Jura, à huit cent cinquante mètres au-dessus du niveau de la mer. Enfin une autre série de vingt de ces mêmes ballons a été transportée au Montanvert, près de la mer de glace, à deux mille mètres d'élévation.

« Les résultats offerts par ces trois séries de ballons m'ont paru assez remarquables pour être mis sous les yeux de l'Académie.

« En effet, des vingt ballons ouverts dans la campagne, huit renferment des productions organisées. Des vingt ballons ouverts sur le Jura, cinq seulement en contiennent, et enfin des vingt ballons remplis au Montanvert, par un vent assez fort, soufflant des gorges les plus profondes du glacier des Bois, un seul est altéré. Il faudrait sans doute multiplier beaucoup ces expériences. Mais, telles qu'elles sont, elles tendent à prouver déjà qu'à mesure que l'on s'élève, le nombre des germes en suspension dans l'air diminue considérablement. Elles montrent surtout la pureté, au point de vue qui nous occupe, de l'air des hautes cimes couvertes de glaces, puisqu'un seul des vases remplis au Montanvert a donné naissance à une mucédinée.

« La prise d'air exige quelques précautions que j'avais reconnues indispensables depuis longtemps pour éloigner autant qu'il est possible l'intervention des poussières que l'opérateur porte avec lui, et de celles qui sont répandues à la surface des ballons et des outils dont il faut se servir. Je chauffe d'abord assez fortement le col du ballon et sa pointe effilée dans la flamme d'une lampe à alcool. Puis je fais un trait sur le verre à l'aide d'une lame d'acier. Alors, élevant le ballon au-dessus de ma tête, dans une direction opposée au vent, je brise la pointe avec une pince en fer, dont les longues branches viennent de passer dans la flamme, afin de brûler les poussières qui pourraient être à leur surface et qui ne manqueraient pas d'être chassées en partie dans le ballon par la brusque rentrée de l'air.

« J'avais été fort préoccupé durant mon voyage de la crainte que l'agitation du liquide dans les vases pendant le transport n'eût quelque influence fâcheuse sur les développements des infusoires et des mucédinées. Les résultats suivants éloignent ces scrupules. Ils vont nous permettre en outre de reconnaître toute la différence

qui existe entre l'air de la plaine et des hauteurs et celui des lieux habités.

« Mes premières expériences sur le glacier des Bois furent interrompues par une circonstance que je n'avais nullement prévue. J'avais emporté, pour refermer la pointe des ballons après la prise d'air, une lampe éolipyle alimentée par de l'alcool. Or la blancheur de la glace frappée par le soleil était si grande, qu'il me fut impossible de distinguer le jet de vapeur d'alcool enflammé, et, comme ce jet de flamme était d'ailleurs un peu agité par le vent, il ne restait jamais sur le verre brisé assez de temps pour fondre la pointe et refermer hermétiquement le ballon.

« Je fus donc obligé de rapporter à la petite auberge de Montanvert, non refermés, les ballons que j'avais ouverts sur le glacier, et d'y passer la nuit, afin d'opérer dans de meilleures conditions, le lendemain matin, avec d'autres ballons. Ce sont les résultats de cette deuxième série d'expériences que j'ai indiqués tout à l'heure.

« Quant aux treize ballons ouverts la veille sur le glacier, je ne les refermai que le lendemain matin, après qu'ils eurent été exposés toute la nuit aux poussières de la chambre dans laquelle j'avais couché. Or, de ces treize ballons, il y en a dix qui renferment des infusoires ou des moisissures. »

Il y a longtemps que le sentiment général attribue à l'air des montagnes un degré de pureté supérieur à l'air des plaines. M. Pasteur en a donné une démonstration aussi rigoureuse qu'élégante.

Nous comprenons bien, maintenant que nous voyons avec quelle profusion tous les germes organiques sont répandus dans l'air commun, nous comprenons bien comment une fermentation peut s'établir dans du moût de raisin, dans une infusion d'orge exposés à l'air; il s'y fait une fermentation alcoolique parce que le *territoire*, pour nous servir de l'expression de Turpin, est éminemment propre à leur développement, et nous trouvons déjà une explication du fait annoncé par Gay-Lussac sur la fermentation du moût de raisin enfermé dans une cloche sur le mercure; en introduisant de l'air, il a très-probablement introduit en même temps un de ces germes des globules de levûre de bière qui voyagent invisibles dans l'espace. Il est possible également que, sous l'influence de l'air pur introduit, un de ces germes existant dans le *mercure* ait pu entrer en germination et ait développé le phénomène. M. Pas-

teur a, en effet, démontré récemment que le mercure des laboratoires est loin d'être exempt de tous ces germes, et qu'il suffit souvent, pour déterminer la fermentation d'un liquide altérable mis jusqu'alors en contact seulement avec de l'air calciné, d'y faire tomber une ou deux gouttes de mercure ordinaire; si le mercure a été chauffé avant l'expérience, la fermentation n'a plus lieu, car les germes ont été détruits.

Voilà donc un fait acquis à la science : la levûre de bière se sème, elle se nourrit de matières azotées, de matières minérales, elle a donc tous les caractères d'un végétal. En résulte-t-il que la fermentation soit un acte physiologique et que ce soit par suite du développement de la levûre que le sucre fermente? sur ce point les opinions sont partagées. M. Pasteur a hésité pendant longtemps avant de se déclarer, et M. Berthelot paraît incliner à penser que la levûre de bière serait capable de déterminer la fermentation du sucre en sécrétant, par suite de son action vitale, une matière spéciale dont le contact suffirait pour déterminer la fermentation. Il est possible, en effet, en lavant la levûre de bière, d'en extraire un liquide capable de faire éprouver au sucre de canne la première transformation qui l'amène à l'état de glucose; mais on n'a pas pu jusqu'à présent isoler le ferment alcoolique proprement dit, c'est-à-dire cette matière qui semblerait destinée à déterminer la transformation du glucose en alcool, acide carbonique, glycérine et acide succinique.

Dans ces derniers temps, M. Pasteur a nettement pris son parti; il pense que la fermentation alcoolique est bien une action physiologique, et il appuie cette manière de voir par une expérience dont il a tout récemment annoncé les résultats à l'Académie des sciences[1].

Il place du sucre et toutes les matières nécessaires à l'alimentation des globules dans des vases dont il fait deux séries; d'une part, le liquide peut recevoir librement le contact de l'air, et d'autre part, en être, au contraire, complétement privé; puis il sème dans chacun de ces liquides une petite quantité de levûre; la fermentation se développe dans les uns et les autres. Dans les vases où l'air a libre accès, la levûre grandit, se ramifie, pousse des bourgeons; son développement est bien plus considérable que dans l'autre expérience, où l'air fait défaut; mais fait-on l'analyse du li-

[1] Séance du 17 juin 1861.

quide dans lequel le développement a eu lieu, on trouve que le sucre n'a été altéré qu'en très-petite quantité dans les vases où l'air a pu pénétrer : une partie de levûre n'en a guère décomposé que six ou huit de sucre.

Ainsi, au contact de l'air, la levûre se développe parfaitement, mais elle fait très-mal fermenter le sucre. « Et cependant cette levûre de bière qui vient de se développer au contact de l'air en absorbant le gaz oxygène, et qui, sous cette influence et par ce mode spécial, perd son caractère ferment, n'a pas changé de nature; car, si on la transporte dans l'eau sucrée à l'abri de l'air, elle y provoque aussitôt la fermentation la plus énergique. »

Quant à la levûre privée du contact de l'air, l'expérience montre que les globules semés se multiplient, quoique d'une manière pénible, et que le sucre fermente. Dans ces conditions, une partie en poids de levûre décompose soixante, quatre-vingts et cent parties de sucre.

« En résumé, dit M. Pasteur, la petite plante cellulaire appelée vulgairement levûre de bière peut se développer sans gaz oxygène libre, et elle est ferment : double propriété qui la sépare alors de tous les êtres inférieurs; ou bien elle peut se développer en assimilant du gaz oxygène libre, et avec une telle activité que l'on peut dire que c'est sa vie normale, et elle perd son caractère ferment : double propriété qui la rapproche au contraire alors de tous les êtres inférieurs. Mais n'oublions pas de remarquer que, si la levûre perd son caractère ferment pendant qu'elle se multiplie sous l'influence de l'oxygène de l'air, elle se constitue néanmoins dans l'état le plus propre à agir comme ferment si l'on vient à supprimer le gaz oxygène libre.

« Voilà les faits dans toute leur simplicité. Maintenant, quelle est leur conséquence prochaine? Faut-il admettre que la levûre, si avide d'oxygène qu'elle l'enlève à l'air atmosphérique avec une grande activité, n'en a plus besoin et s'en passe lorsqu'on lui refuse ce gaz à l'état libre, tandis qu'on le lui présente à profusion, sous forme de combinaison dans la matière fermentescible? Là est tout le mystère de la fermentation. Car, si l'on répond à la question que je viens de poser en disant : Puisque la levûre de bière assimile le gaz oxygène avec énergie lorsqu'il est libre, cela prouve qu'elle en a besoin pour vivre, et elle doit conséquemment en prendre à la matière fermentescible si on lui refuse ce gaz à l'état de liberté;

aussitôt la plante nous apparaît comme un agent de décomposition du sucre. Lors de chaque mouvement de respiration de ses cellules, il y aura des molécules de sucre dont l'équilibre sera détruit par la soustraction d'une partie de leur oxygène. Un phénomène de décomposition s'ensuivra, et de là le caractère ferment, qui au contraire fera défaut lorsque la plante assimilera du gaz oxygène libre. »

Quelque temps avant cette communication de M. Pasteur, un savant allemand, M. H. Hoffmann, auquel on doit un très-bon mémoire sur la fermentation, était arrivé à une explication analogue de la cause de la fermentation. « Si c'est exclusivement, dit ce physiologiste, à certains champignons et infusoires qu'appartient la propriété de décomposer les liquides sucrés, en amenant un développement de gaz, ou de faire passer les autres liquides organiques à la putréfaction à l'aide d'une absorption d'oxygène, propriété qui n'a pas été encore reconnue chez d'autres corps, soit vivants, soit morts, au moins pour ce qui est de la fermentation, il s'ensuit qu'en mettant ces liquides à l'abri de l'influence de ces deux champignons, on devra les conserver inaltérés. »

Cet accord entre deux savants poursuivant isolément la même question se présente souvent et milite en faveur de l'interprétation commune. — Si l'on n'avait pas affaire à un observateur aussi rigoureux que M. Pasteur, on pourrait craindre cependant que la faible décomposition du sucre obtenue, quand l'oxygène pénètre dans les appareils, soit due non-seulement à la présence de ce gaz, mais aussi à la manière dont on a opéré. — M. Pasteur avait placé son liquide dans des vases très-larges, sur une faible épaisseur, dans des conditions où la levûre a peut-être eu de la peine à se répandre dans toute la masse; nous trouvons en effet, dans le mémoire de M. H. Hoffmann, le passage suivant : « Si l'on remplit en partie un tube à réactifs avec une solution sucrée ou avec du moût de bière cuit depuis peu, qu'on dispose ensuite ce tube obliquement et qu'après le refroidissement on ajoute un peu de ferment dans la portion antérieure, où le liquide a peu de profondeur, on voit la fermentation se déclarer sur ce point et ne s'étendre latéralement qu'à quelques millimètres de distance, pendant que la plus grande partie du liquide ne subit aucune altération. Cela tient à ce que le ferment n'a aucun moyen pour s'étendre horizontalement, tandis que, si le vase est disposé verticalement, les bulles de gaz qui s'élèvent contribuent à en répandre uniformément les cellules. »

Il est très-probable que M. Pasteur a prévu cette objection et qu'il est très-capable d'y répondre, car, jusqu'à ce dernier point, la marche qu'il a suivie dans ses recherches est très-logique; la question était posée : Quels sont les produits de la fermentation, qu'est-ce que ce phénomène? — Il fait d'abord table rase de tout ce qu'on sait ou croit savoir; il reprend la question *ab ovo;* il se trouve qu'elle est moins simple qu'on ne l'avait admis, et que le sucre en fermentant se sépare en quatre produits au lieu de deux; cette complication des résultats lui donne à penser qu'il est en face d'un phénomène physiologique. M. Pasteur reprend alors les hypothèses de Cagniard de Latour et de Turpin. Pour eux le ferment est un végétal; s'il en est ainsi, ce végétal doit pouvoir se multiplier dans un sol convenable, il le prouve : ce végétal doit naître d'une semence, il le prouve encore; restait à savoir quelle est la cause de la fermentation : ce végétal peut-il sécréter une matière qui serait le ferment, ou bien est-ce lui-même, par action physiologique, qui modifie le sucre? M. Pasteur admet la dernière hypothèse, et cherche successivement quels sont les principes existants dans le sucre que le ferment doit absorber en déterminant sa décomposition en produits divers, comme une voûte tombe en pièces de diverses formes quand on enlève une des pierres nécessaires à sa stabilité; ce que le ferment demande au sucre, ce qu'il lui enlève, c'est l'oxygène, et voici enfin une interprétation bien préférable à celle qu'on a donnée jusqu'ici, de la cause déterminante de ce phénomène, dont on s'est tant préoccupé depuis un siècle.

III

Fermentations diverses. — Travaux de M. Berthelot. — Conclusion.

Nous venons de présenter avec détails les faits relatifs à la fermentation du sucre de canne sous l'influence de la levûre de bière; il nous reste maintenant à étudier les fermentations à un point de vue plus général, et à examiner si l'explication de ces fermentations diverses comme acte physiologique est encore possible.

On désigne d'une façon générale, sous le nom de fermentation, les métamorphoses que sont susceptibles d'éprouver les principes immédiats contenus dans les tissus des êtres vivants lorsqu'ils sont

mis en contact de certains d'entre eux, dans des circonstances favorables à cette métamorphose.

Les exemples de fermentation sont très-nombreux ; un des plus remarquables est celui qu'éprouve l'amidon des céréales ou la fécule des tubercules au moment de la germination. — L'étude attentive de cette germination a montré qu'autour du point de la graine ou du rhizome où la vie se réveille, où va se montrer la tigelle et la gemmule du nouveau végétal, apparaît une matière particulière, isolée pour la première fois par MM. Payen et Persoz, et qu'ils ont nommée *diastase* (faire couler au travers), parce qu'agissant sur l'amidon, complétement fixe, insoluble dans l'eau, qui reste comme provision pour l'avenir là où il a été déposé d'abord, elle est susceptible de le transformer en dextrine, substance éminemment soluble au contraire ; il suffit d'une partie de diastase pour rendre solubles deux mille parties d'amidon et pour les transformer d'abord en dextrine, cette matière sirupeuse après dissolution qui remplace avantageusement la gomme, et enfin en glucose. L'amidon et la dextrine ont la même composition chimique ; quand au glucose, il diffère des précédents par une certaine quantité d'eau. — On attribue généralement cette remarquable action de la diastase sur l'amidon à une fermentation par contact ; car on n'a trouvé jusqu'à présent aucune structure organisée à la diastase.

L'utilité de cette transformation, au moment où la germination a lieu, est des plus évidentes ; pour que la petite plante se développe, pour qu'elle forme ses tissus, il lui faut évidemment de la matière tout organisée avant que, les tiges formées, les feuilles ouvertes, la jeune plante puisse commencer à se suffire à elle-même ; de même que la nature prévoyante donne à la mère le lait destiné à nourrir le jeune être qu'elle vient de mettre au monde, jusqu'au moment où son appareil dentaire développé pourra lui permettre de broyer les aliments végétaux ou animaux, de même elle accumule dans la graine une réserve propre à fournir aux premiers besoins de la jeune plante. Mais l'amidon contenu dans la graine est fixe, insoluble, et cela est sage, car il faut qu'il reste en réserve pendant toute la période qui sépare la récolte de la semaille ; au moment où la germination a lieu, la diastase se forme et l'amidon se liquéfie immédiatement ; il circule dans la jeune plante, gorge ses tissus, se transforme en cellulose, forme le squelette de la tigelle qui s'élance bientôt hors de terre, verdit et devient capable

de commencer l'élaboration de la séve, et par suite sa vie régulière.

Tout le monde a remarqué que les pommes de terre germées se plissent, se rident à mesure que la tige qui est fixée sur elles grandit et s'épanouit; la fécule qui gorgeait le tubercule est absorbée, et celui-ci se vide peu à peu, puis finit par se flétrir complétement; la nourrice n'a plus de lait, et sa mamelle, gonflée d'abord quand l'enfant ne pouvait manger, se vide et s'affaisse quand le nourrisson, devenu fort, peut vivre aux dépens du monde extérieur.

La fermentation qu'éprouvent les principes contenus dans les amandes amères mélangés à la pulpe des amandes douces est encore, semble-t-il, une fermentation par contact ; celle-là est facile à réaliser et l'expérience est réellement démonstrative. Que dans un mortier on écrase avec de l'eau des amandes amères, à côté, dans un autre mortier, des amandes douces, on ne sentira aucune odeur se produire ; les deux variétés d'amandes sont inodores. Mais qu'on mêle les matières des mortiers, et aussitôt une fermentation s'établit, manifestée par cette odeur agréable qui appartient à l'essence d'amandes amères, mêlée à une faible quantité d'acide prussique.

La matière qui fermente est l'amygdaline, substance blanche solide qui existe dans les amandes amères. Le ferment est la synaptase, encore nommée émulsine, qui se trouve dans les amandes douces. Quand les deux variétés d'amandes sont séparées, la fermentation ne s'établit pas, au moins immédiatement, tandis qu'elle a lieu aussitôt qu'on réunit le ferment et la matière fermentescible.

M. Berthelot, qui, dans le remarquable ouvrage dont nous avons rendu compte plus haut[1], a classé les fermentations avec beaucoup d'ordre et de méthode, attribue encore à cette fermentation le dédoublement qu'éprouvent les matières grasses qui se trouvent dans nos aliments lorsqu'elles rencontrent dans les intestins le suc spécial sécrété par le pancréas, et qu'on appelle pancréatine.

Ainsi voilà quelques fermentations dans lesquelles on n'a découvert jusqu'à présent aucun être organisé ; bien plus, quelques-uns des ferments que nous venons de nommer sont susceptibles d'être engagés dans des combinaisons chimiques, puis séparés par les moyens qu'emploient habituellement les chimistes sans perdre leurs propriétés spéciales ; ce qui semble exclure absolument l'idée

[1] *Chimie*, page 70.

d'organisation. Enfin, dans sa classification des fermentations, où il établit entre les sucres et les alcools des points de rapprochement très-curieux, M. Berthelot rappelle qu'il a encore obtenu plusieurs fermentations au contact de certains tissus azotés spéciaux, sans qu'il ait pu toujours trouver un être organisé vivant, déterminant cette fermentation.

M. Pasteur est d'un avis différent, et il soutient son opinion par une étude très-approfondie de fermentations différentes de la fermentation alcoolique.

Quand on laisse du sucre en dissolution dans l'eau au contact d'une matière azotée, avec de la craie en poudre, on ne tarde pas à y voir se développer une fermentation ; mais le produit principal, au lieu d'être de l'alcool, est un acide qu'on rencontre dans le lait aigri et qu'on appelle acide lactique.

Cette fermentation dite lactique a été étudiée en 1837 par Turpin, qui paraît s'être fourvoyé dans les études microscopiques auxquelles il s'est livré ; plus tard elle a été vivement éclairée par les bons travaux de MM. Boutron et Frémy, Pelouze et Gélis. Elle a été aussi l'objet des études de M. Pasteur, qui n'a pas tardé à y reconnaître la présence de petits globules, ressemblant beaucoup à la levûre de bière, mais de moindres dimensions ; cette *levûre lactique* se développe très-bien dans une liqueur neutre, plus difficilement dans une liqueur acide, et comme, ainsi que nous l'avons dit, cette fermentation donne naissance à un acide, il est nécessaire, pour qu'elle réussisse convenablement, d'ajouter de la craie à la matière fermentescible, pour maintenir la liqueur dans un état de neutralité favorable au développement de cette petite végétation.

Ainsi, d'après M. Pasteur, ce serait sous l'influence de la vie, de l'existence de cette levûre lactique, que le sucre se transformerait en acide lactique, comme il se transforme en alcool, acide carbonique, etc., sous l'influence des globules de levûre de bière.

« Une des difficultés capitales de ces études, dit M. Pasteur, consiste dans la production isolée, individuelle, des divers ferments. Je puis affirmer qu'il existe un grand nombre de levûres organisées distinctes, provoquant des transformations chimiques variables, suivant leur nature et leur organisation. Mais le plus souvent l'aliment qui convient aux unes permet le développement des autres. De là les phénomènes les plus compliqués, les plus changeants. »

Ainsi, quand on veut, par les moyens que nous avons indiqués, obtenir la fermentation lactique du sucre, ce à quoi on arrive surtout en semant la levûre lactique dans un milieu approprié, il arrive souvent, quand on ne prend pas toutes sortes de précautions, qu'il se développe en même temps une fermentation visqueuse qui se présente souvent dans les vins, et qui serait due à la présence d'un ferment spécial capable de transformer le sucre en gomme, et qu'on obtient encore en outre une *fermentation butyrique*, manifestée par la présence dans la liqueur de l'acide butyrique dont l'odeur tenace et repoussante caractérise le beurre rance.

Les fermentations alcoolique, lactique visqueuses se superposent donc souvent. La levûre de bière est loin d'être, en effet, comme on pourrait le croire, formée exclusivement par les germes d'un végétal unique; c'est un amas de cellules dans lequel les naturalistes les plus exercés sont incapables de distinguer les germes de telle ou telle espèce; si on sème ce mélange de petites graines, il se développe une ou plusieurs végétations, suivant les conditions qu'elles rencontrent; de là plusieurs espèces de fermentations. —

Ce point bien établi, si nous revenons à la fermentation alcoolique, on comprendra qu'il est bien difficile d'affirmer qu'à côté de la levûre de bière normale, donnant avec le sucre de l'alcool et de l'acide carbonique, il n'existe pas une autre levûre capable de faire éprouver à une portion du sucre la fermentation glycérique et succinique, de telle sorte que pour quelques chimistes ce serait pour ainsi dire un phénomène secondaire qui produirait les deux substances et masquerait la régularité de la décomposition du sucre en alcool et acide carbonique.

Les ferments alcoolique, lactique, visqueux, sont, pour M. Pasteur, des végétaux; mais le ferment butyrique est un animal inférieur, un *infusoire*[1].

Les résultats obtenus par M. Pasteur sur ce sujet sont tellement curieux, que nous demanderons la permission de citer une partie du mémoire qu'il a présenté à ce sujet à l'Académie, le 25 février dernier.

La fermentation butyrique est due, disons-nous, à des infusoires.

[1] Pour beaucoup de physiologistes, les bactériums appartiendraient plutôt au règne végétal.

« Voici leur description : Ce sont de petites baguettes cylindriques, arrondies à leurs extrémités, ordinairement droites, isolées ou réunies par chaînes de deux, de trois, de quatre articles, et quelquefois même davantage. Leur largeur est de $0^{mm},002$ en moyenne. La longueur des articles isolés varie de $0^{mm},002$ jusqu'à $0^{mm},015$ ou $0^{mm},02$. Ces infusoires s'avancent en glissant. Pendant ce mouvement, leur corps reste rigide ou éprouve de légères ondulations. Ils pirouettent, se balancent ou font trembler vivement la partie antérieure ou postérieure de leur corps. Les ondulations de leurs mouvements deviennent très-évidentes dès que leur longueur atteint $0^{mm},015$. Souvent ils sont recourbés à une de leurs extrémités, quelquefois à toutes deux. Cette particularité est rare au commencement de leur vie.

« Ils se reproduisent par fissiparité. C'est évidemment à ce mode de génération qu'est due la disposition en chaînes d'articles qu'affecte le corps de quelques-uns. L'article qui en traîne d'autres après lui s'agite quelquefois vivement, comme pour s'en détacher.

« Bien que les corps de ces vibrions aient une apparence cylindrique, on les dirait souvent formés d'une suite de grains ou d'articles très-courts à peine ébauchés. Ce sont sans nul doute les premiers rudiments de ces petits animaux.

« On peut semer ces infusoires comme on sèmerait de la levûre de bière. Ils se multiplient si le milieu est approprié à leur nourriture. Mais, ce qui est bien essentiel à remarquer, on peut les semer dans un liquide ne renfermant que du sucre, de l'ammoniaque et des phosphates, c'est-à-dire des substances cristallisables et pour ainsi dire toutes minérales, et ils se reproduisent corrélativement à la fermentation butyrique qui apparaît très-manifeste. Le poids qui s'en forme est notable, bien que toujours minime, comparé à la quantité totale d'acide butyrique produit, comme cela se passe pour tous les ferments.

« L'existence d'infusoires possédant le caractère des ferments est déjà un fait qui semble bien digne d'attention ; mais une particularité singulière qui l'accompagne, c'est que ces animalcules infusoires vivent et se multiplient à l'infini, sans qu'il soit nécessaire de leur fournir la plus petite quantité d'air ou d'oxygène libre.

« Il serait trop long de dire ici comment je me suis arrangé pour que les milieux liquides où ces infusoires vivent et pullulent par myriades ne renferment absolument pas d'oxygène libre dans

leur intérieur ou à leur surface[1], ce que j'ai d'ailleurs soigneusement constaté. J'ajouterai seulement que je n'ai pas voulu présenter mes résultats à l'Académie sans en avoir rendu témoins plusieurs de ses membres, qui m'ont paru reconnaître la rigueur des preuves expérimentales que j'ai mises sous leurs yeux.

« Non-seulement ces infusoires vivent sans air, mais l'air les tue. Que l'on fasse passer dans la liqueur où ils se multiplient un courant d'acide carbonique pur pendant un temps quelconque, leur vie et leur production n'en sont aucunement affectées. Si, au contraire, dans des conditions exactement pareilles, on substitue au courant d'acide carbonique un courant d'air atmosphérique, pendant une ou deux heures seulement, tous périssent, et la fermention butyrique liée à leur existence est aussitôt arrêtée.

« Nous arrivons donc à cette double proposition :

« 1° *Le ferment butyrique est un infusoire.*

« 2° *Cet infusoire vit sans gaz oxygène libre.*

« C'est, je crois, le premier exemple connu de ferments animaux, et aussi d'animaux vivant sans gaz oxygène libre. »

N'abusons pas plus longtemps de la patience du lecteur, qui a peut être eu de la peine à suivre les faits nombreux que nous avons fait passer sous ses yeux.

En résumé, Cagniard de Latour, Turpin, ont étudié les fermentations, et pour eux une fermentation est un acte physiologique. Cette opinion, abandonnée pendant longtemps, a été reprise récemment par M. Pasteur et soutenue par un remarquable système d'expérimentations, sagace, minutieux, patient, et dont les résultats se trouvent confirmés sur ce point spécial par les travaux de M. H. Hoffmann.

M. Pasteur n'a étudié complétement jusqu'à présent que quatre fermentations ; pour toutes, il trouve un ferment spécial, vivant et produisant cette fermentation par action physiologique ; en sera-t-il de même des autres fermentations qu'il étudiera ? C'est ce que

[1] Lorsque M. Pasteur a communiqué à la société philomatique ses travaux sur la fermentation butyrique, M. Berthelot a rappelé que dans les laboratoires on préparait souvent l'acide butyrique dans des vases à l'air libre, sans chercher le moins du monde à exclure l'oxygène; il serait possible que dans ce cas l'acide carbonique, dégagé par les fermentations multiples qui se produisent, formât à la surface du liquide une atmosphère capable d'empêcher le contact de l'air.

l'avenir apprendra; on a de la peine à croire au premier abord que la diastase soit un être animé, ou qu'elle nourrisse des êtres animés capables de produire simplement un changement isomérique; on ne peut pas *à priori* admettre cette même explication pour l'action de l'émulsine ou pour celle de la pancréatine; faudra-t-il donc diviser les fermentations en deux grandes classes : tandis que les unes seraient dues à l'action physiologique exercée par des êtres vivants, les autres seraient les produits des actions de contact? Faut-il croire, avec M. Berthelot, que tous les êtres animés que voit M. Pasteur dans ses expériences sont capables de sécréter certaines matières agissant sur le sucre par action de présence, et que les ferments animés seraient ainsi seulement les agents producteurs des ferments inanimés réels? C'est ce qu'il nous est impossible d'affirmer aujourd'hui. — M. Pasteur continue avec ardeur les belles recherches que nous venons d'exposer, et il est probable qu'il répondra victorieusement à toutes les objections qu'on peut encore lui faire. Dans tous les cas, ses recherches ont vivement éclairé un des points les plus délicats de la chimie physiologique, et, si nous ne pouvons encore les résumer complétement par quelques conclusions, si nous ne pouvons pas affirmer absolument que les fermentations soient des actes physiologiques, ces doutes n'entachent pas plus la théorie donnée par M. Pasteur que toutes celles que nous admettons dans d'autres questions, car nous devons nous rappeler avec Lavoisier que : « Les systèmes de physique ne sont que des instruments propres à soulager la faiblesse de nos organes; ce sont, à proprement parler, des méthodes d'approximation qui nous mettent sur la voie de la solution du problème; ce sont des hypothèses qui, successivement modifiées, corrigées et changées à mesure qu'elles sont discutées par l'expérience, doivent nous conduire immanquablement un jour, à force d'exclusions et d'éliminations, à la connaissance des vraies lois de la nature. »

Laissons de côté maintenant tous ces détails, et en dehors de ses causes, le phénomène de fermentation va nous apparaître comme un des rouages les plus importants de la grande machine de l'univers. — La nature a voulu, avec une quantité déterminée de matière, produire pendant la suite des siècles les êtres les plus variés; la destruction devient ainsi le complément de la création, la mort est nécessaire à la vie. — La force spéciale qui accomplit ce dessein immuable, c'est la fermentation. — Tous ces êtres microscopiques

répandus à profusion dans l'atmosphère y voyagent toujours en quête d'une proie, partout où un tissu devient morbide, où la vie s'éteint, où même une matière complexe se rencontre, toute cette armée se précipite, pullule, se repaît en désorganisant, puis meurt à son tour, abandonnant la matière sous une forme plus simple, plus propre à la nutrition de nouveaux êtres.

Arrivé à la fin de sa croissance, le grand chêne meurt branche à branche; entière, cette masse imposante resterait inutile, il faut donc la pulvériser, la rendre propre à alimenter le jeune arbre voisin; les moisissures, les champignons se mettent à l'œuvre, peu à peu les branches se détachent, puis le tronc lui-même s'ébranle, s'affaisse, et tombe; sur ce grand cadavre gisant, la destruction continue, et bientôt tout disparaît, l'individu est détruit, mais la matière éternelle est entraînée à côté dans une vie nouvelle.

Plus rapidement encore, sous l'effort de ces êtres microscopiques, disparaissent les restes des animaux; il faut, pour que la vie soit possible sur ce globe où les cadavres s'amoncellent, qu'ils soient rapidement détruits, que la décomposition marche aussi vite que la mort; les phénomènes de fermentation et de putréfaction sont chargés d'y pourvoir.

Les études qui ont pour but de les faire connaître touchent donc à ce qu'il y a de plus essentiel dans l'économie de l'univers, et ces petits êtres que notre œil peut à peine apercevoir n'en sont pas moins les agents d'une puissance à laquelle nul ne peut se soustraire.

P. P. Dehérain.

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

MÉCANIQUE

ART DE L'INGÉNIEUR

I

LES PUITS ARTÉSIENS ET LE PUITS DE PASSY

I

Au nombre des causes multiples qui ont exercé une influence manifeste sur le peuplement du globe, la répartition des océans et des fleuves est évidemment l'une des plus puissantes. En effet, un ciel serein prodigue inutilement ses faveurs aux terres déshéritées que l'eau, ce grand véhicule de la vie universelle, n'abreuve pas suffisamment, tandis que d'innombrables organismes, appartenant à un nombre infini d'espèces différentes, s'épanouissent sous chacun des rayons que le soleil distribue aux sols assez richement arrosés.

Heureusement l'industrie humaine sait réparer, dans beaucoup de cas, ce que l'on pourrait appeler les oublis de la nature. Car ce n'est point seulement dans le lit des ruisseaux, des torrents, des rivières et des fleuves que l'homme est réduit à chercher les éléments liquides, indispensables à son existence sociale. Les couches intérieures du sol sur lequel reposent nos principales cités ren-

ferment presque toujours des réservoirs cachés, dans le sein desquels s'accumulent des trésors aquatiques, suffisamment abondants pour subvenir à l'alimentation des agglomérations urbaines les plus populeuses, et pour arroser des districts entiers.

C'est avec un sens profond des rapports intimes des choses, que l'art de découvrir ces trésors de vitalité latente a toujours séduit l'imagination populaire. Quelle merveilleuse image pour représenter la puissance d'un prophète, que de le montrer frappant le sol aride d'un désert, et faisant jaillir une fontaine inépuisable ! Un hydroscope, aussi habile que peut l'être, dit-on, l'abbé Paramel, aurait facilement passé pour un favori des dieux, dans un siècle moins crédule que celui qui vit les Hébreux traverser la mer Rouge.

Que d'enchanteurs ont fébrilement invoqué les génies veillant à la conservation des eaux cachées ! Que de sorciers ont adressé de bizarres et inutiles supplications aux nymphes timides qui se dissimulent sous les sables ou qui se tiennent assises derrière les rochers ! Que de charlatans ont promené leur impuissante baguette divinatoire à la surface d'un sol dénudé !

Mais, grâce à la constitution scientifique de la théorie des nappes artésiennes, nos savants sont parvenus à résoudre, avec une admirable précision, le problème qui a fait le désespoir de tant d'empiriques. Rien n'est moins sujet à erreur que les principes généraux de la physique du globe, dont les géologues ont déduit tant de prédictions vérifiées. L'histoire des sciences occultes peut-elle offrir un plus beau spectacle que celui d'Arago, attendant avec une imperturbable persévérance, la justification des calculs d'Élie de Beaumont, des observations de Walferdin, de ses propres prévisions, et allant chercher sous cinq cents mètres de couches inerte a démonstration de sa sagacité.

Pendant une longue série de siècles, les philosophes qui ont cherché à scruter les mystères de l'organisation physique du sphéroïde terrestre, ont cru que la mer avait dû se répandre par voie d'infiltration jusque dans l'intérieur des continents, que les flots saumâtres avaient perdu leur salure par un contact prolongé avec les terres et les roches et qu'il suffirait, par conséquent, de creuser jusqu'au prolongement de la surface des océans pour trouver partout une immense nappe d'eau potable.

Cette théorie rudimentaire ne donne qu'une idée imparfaite et inexacte des grands phénomènes de vaporisation et de précipitation

d'eau dont le globe est le théâtre, de l'immense circulation des éléments liquides enveloppant la surface solide comme dans un double réseau. Il est vrai, les torrents d'eau pluviale qui se précipitent à la surface de la terre ne retournent pas tous à l'Océan, en suivant les rigoles, les ravins, les tranchées qui découpent le relief des continents. La vaporisation, produite par la chaleur atmosphérique, ne suffit même pas pour pomper vers les nuages l'humidité qui échappe aux artères fluviales, aux ramifications du système hydraulique de la surface. Des masses énormes, incommensurables, de liquide se précipitent dans les fissures des rochers, entrent dans les sables, pénètrent dans les grès, sont absorbées par les couches poreuses et descendent, tant qu'une cause quelconque ne vient pas opposer une barrière infranchissable à l'action de la gravité.

Le résidu du drainage naturel de toutes les plaines forme une vaste couche fluide qui noie les assises inférieures des terrains de sédiment, de sorte qu'il existe un mélange constant entre les eaux souterraines et celles qui, coulant à la surface, ont seules l'honneur de figurer dans la géographie.

Tantôt, en effet, les artères fluviales les plus rapides, les plus majestueuses, disparaissent dans des dunes, dans des sables, dans des abîmes inconnus. Tantôt, au contraire, des affluents cachés viennent grossir les cours d'eaux qui roulent alors des flots dont l'abondance surprend tous les observateurs.

Ailleurs, des prairies tremblantes couvrent les bords des rivières [1], et sur les ondes paresseuses se balancent d'immenses radeaux naturels, supportant une abondante végétation que le bétail s'aventure à paître, tandis qu'au-dessous les pêcheurs y poursuivent en même temps le poisson.

Mais il faut établir une différence bien nette et bien tranchée entre ces infiltrations locales et d'autres nappes d'une disposition toute particulière, car cette distinction capitale, qui avait complétement échappé aux philosophes de l'antiquité, forme la base de la théorie du forage des puits artésiens.

L'action des feux souterrains amène dans les cavités, dans les boursouflures, dans les interstices des monts d'origine volcanique,

[1] Voir la description donnée du système hydrographique de la Louisiane, par M. Bonie, dans les *Mémoires de la Société zoologique de France* (1861).

des courants constants d'eau transportés par l'action ignée. Des sources, dont l'origine pourrait passer pour infernale, si on adoptait encore la terminologie mythologique, retombent dans les vallées. Les unes, sautant de rocs en rocs, forment des cascades se confondant avec celles qui coulent des glaciers. Les autres s'écoulent par les fissures intérieures formant de véritables filons humides [1].

Mais, en même temps que la chaleur centrale travaille ainsi à ramener les eaux égarées dans les profondeurs de l'écorce terrestre, les rayons solaires alimentent les réservoirs que les Brahmines appelaient si poétiquement les mamelles du monde.

Malheur aux sondeurs qui s'arrêtent aux couches malsaines d'eaux paresseuses, ou plutôt d'eaux parasites, comme disent les géologues, qui se présentent les premières sous leur sonde; ils ne tireront ordinairement de leurs puits que des ondes séléniteuses chargées des infiltrations fétides des cités, presque toujours impuissantes à remonter d'elles-mêmes à la surface du sol. Mais, s'ils ne reculent pas devant les difficultés d'un long et pénible travail, s'ils creusent, s'ils descendent et creusent encore, ils s'affranchiront de toutes ces misères : ils rencontreront ce fleuve de lait que les premiers sages faisaient descendre des sommets du mont Merou.

Généralement les couches stratifiées qui sont en contact avec les parois vitrifiées des montagnes sont mélangées de sables ou de galets roulés. C'est au moins ce qui arrive pour le bassin imperméable de Paris, où des matières arénacées, affleurant assez loin de la capitale, absorbent le résidu du drainage du haut pays.

Ce gigantesque filtre naturel, cette merveilleuse éponge, est surmonté par un vaste chapeau de matières imperméables dans leur ensemble, épais de 400 mètres environ, et large de 160 mille.

Par suite de cette disposition particulière, les égoutures des montagnes se trouvent emprisonnées dans un immense bassin souterrain, dont le centre est occupé par une masse compacte, reposant sur un lit perméable et dont les bords sont relevés jusqu'à une hauteur de plus de 500 mètres à partir du fond. La loi des vases communiquants s'applique donc, dans toute sa généralité, à ces masses poreuses et humides. Il suffit de pratiquer des orifices

[1] C'est sans doute à cette double origine qu'est due la production du fleuve souterrain que Humboldt et Boussingault ont entendu couler sous les fleuves du *Cotopasi*.

dans la partie où la surface du sol est déprimée, pour obtenir des jets liquides, qui s'élèveront jusqu'au niveau des bords extérieurs.

Paris, comme l'a démontré Arago, semble destiné à recueillir le tribut des ondes souterraines qui filtrent à travers les sables lointains. La grande ville peut absorber le produit de la centralisation naturelle des eaux qui partent des monts, lui servant de rempart, de ceinture et d'abri. Mais comment s'y prendre pour percer le couvercle de la citerne titanesque, dont les dimensions sont dignes d'une des métropoles de la civilisation ?

Nous n'essayerons pas de donner une idée exacte des travaux du puits de Passy, sans parler de ceux de Grenelle, son frère aîné. On ne gagnerait rien à être ingrat pour les *Christophe Colomb* de la géologie, qui ont découvert le monde souterrain que nos édiles hésitent si longtemps à exploiter.

II

C'est deux ans après la révolution de Juillet que l'on conçut le projet de pourvoir aux besoins de la capitale, au moyen d'un certain nombre de puits forés [1]. Mais on ne tarda pas à reconnaître ce que l'on ignorait encore, que la nappe souterraine, déjà mise à contribution pour alimenter les sondages des environs, ne possédait pas une force ascensionnelle suffisante pour donner des eaux jaillissantes au niveau de Paris.

Arago proposa hardiment de percer la couche épaisse que le grand océan crétacé a déposée dans les temps anciens, et de pousser le sondage jusqu'à la rencontre des sables verts qui sortent de terre du côté de Troyes. Le conseil des ministres, consulté sur un projet dont la réussite paraissait très-hasardeuse aux gens ignorants, accorda cependant l'autorisation. Peut-être n'était-ce pas la confiance dans l'infaillibilité des prévisions du grand astronome qui le décidait à adopter cette conduite libérale, mais ne cherchons pas à sonder les secrets des dieux.

[1] Le conseil municipal prit cette résolution, due à l'initiative d'Arago, à la suite du succès remarquable des forages artésiens pratiqués à Épinay, à Stans, à Saint-Denis, et vota une somme de *dix-huit mille francs* pour forer trois nouveaux puits !

Le 29 novembre 1833, on apporta à l'abattoir les outils et instruments nécessaires à la plus gigantesque opération de sondage qui eut été tentée au moins en France.

La sonde devait être mue au moyen d'une chèvre ordinaire et d'un treuil que cinq ou six hommes faisaient mouvoir. Ce n'est que lorsqu'on fut parvenu à la profondeur de 50 mètres que l'on s'aperçut qu'on devait employer un propulseur plus énergique ; et l'on remplaça le treuil par un manége que cinq ou six chevaux faisaient mouvoir.

Pour apprécier l'importance de ce premier perfectionment accompli à une époque où les préjugés des corps constitués n'auraient pas permis d'appliquer une machine à vapeur à l'exécution d'un travail temporaire, il suffira de faire remarquer que trois chevaux faisaient, en soixante minutes, autant d'ouvrage que onze hommes en trois fois plus de temps, par conséquent ne remplaçaient pas moins de trente-trois manœuvres.

La première partie de l'opération n'offrit aucun incident réellement remarquable. On rencontra, comme cela devait être, l'eau des puits ordinaires au-dessous des premières couches, puis on se mit à enfoncer des tubes pour empêcher des éboulements. Après avoir lutté contre une foule de contre-temps auxquels il est indispensable de s'attendre dans un travail de cette nature, telles que rupture de câbles, chutes de sondes et de cuillers, on pénétra jusqu'à près de 350 mètres au-dessous du niveau du sol. Mais malheureusement, dans les sondages, le proverbe « il n'y a que le premier pas qui coûte, » doit être renversé ; les difficultés s'accumulent à mesure que l'on avance.

Jusqu'à ce moment on avait pulvérisé la roche au moyen d'un bélier pesant 8,000 kilogrammes qu'on soulevait et qu'on laissait retomber. Mais on comprit bientôt qu'il était impossible d'aller plus loin sans changer de système. Les ébranlements produits par la chute d'une masse d'un poids si considérable se communiquaient à tous les ajustements avec une énergie croissante. Des ruptures fréquentes devenaient inévitables, entraînant avec elles des pertes de temps prodigieuses.

Dans quel embarras ne se trouve pas le sondeur lorsqu'il voit disparaître ses outils dans un gouffre dont la profondeur l'épouvante, car il sait que les appareils de sauvetage doivent pénétrer jusqu'au bout Que de tâtonnements pour saisir les morceaux de

fer échappés, en lançant, dans ce trou obscur rempli d'eau et de boue, des crochets doublement recourbés, des cônes, des instruments opérant tous à peu près au hasard, car ils sont séparés de la main qui les guide par des tiges, longues de plusieurs centaines de mètres.

Il fallut avoir recours à un autre procédé de forage et abandonner le mouton pour prendre la tarière, instrument dont la manœuvre paraît également difficile. Qu'on se figure, en effet, une immense vrille, travaillant au fond d'un trou dont le diamètre ne dépasse pas celui d'une conduite de gaz, et dont la longueur égale deux ou trois fois la hauteur des tours Notre-Dame. Quand le travail, produit par deux ou trois chevaux qui poussent un manége, et communiqué par l'intermédiaire d'une masse énorme d'ajustements, a désagrégé quelques atomes, il faut ramener à la surface du sol les détritus boueux arrachés par le frottement du taraud.

La cuiller, qui doit aller les chercher jusqu'au fond du trou, est un gigantesque seau en tôle, portant à sa partie inférieure une soupape qui s'ouvre pour laisser pénétrer les matières boueuses, et qui se ferme d'elle-même lorsqu'on la soulève.

Trois ans et demi après le jour où les travaux avaient été inaugurés, on était parvenu à une profondeur de 400 mètres, mais rien n'annonçait que le travail tirât à sa fin. On avançait avec une lenteur désespérante dans la craie dure et grise; les fonds s'épuisaient, et l'eau ne venait pas. Les ennemis de l'entreprise relevaient la tête, et ceux d'Arago ne cachaient pas leur joie. Heureusement, au milieu de cette polémique, le directeur de l'Observatoire de Paris continuait imperturbablement les observations scientifiques qu'il avait entreprises, de concert avec M. Walferdin, l'auteur des thermomètres *à maxima*, pour déterminer l'échelle d'accroissement des températures. A chaque nouveau retard occasionné par la profondeur à laquelle se cache la couche aquifère, il répondait triomphalement en montrant la progression des degrés marqués sur le thermomètre. « Tant mieux, s'écriait-il, tant mieux que l'eau se fasse attendre, car nous l'aurons plus chaude. »

Grâce aux inépuisables ressources de son esprit persuasif, Arago parvint à ranimer la confiance de ses collègues, ébranlés par les sarcasmes de la presse conservatrice. De nouveaux fonds furent

votés, malgré l'opposition des gens qui, devant trouver plus tard que la France était assez riche pour payer sa gloire, pensaient cependant que Paris était trop pauvre pour continuer son puits.

A peine cet important succès administratif était-il obtenu, qu'un accident grave vint compromettre l'issue des travaux. Par suite de la rupture d'un câble, 325 mètres de sonde tombèrent à la fois dans le fond du trou. On parvint bien à saisir les barres de fer; mais la cuiller, engagée dans la craie, résista à tous les efforts; il fallut donc essayer le moyen héroïque de la broyer sur place. Malheureusement on ne fut pas long à s'apercevoir qu'il surgissait une autre difficulté. Le trou n'était pas tubé dans sa partie inférieure et fournissait constamment une masse énorme de débris, qui entravaient l'opération et la rendaient en quelque sorte impraticable. Avant de poursuivre *ce brisage du fer par le fer*, il fallut donc commencer par descendre un immense tube ayant 208 mètres de longueur et offrant le poids effrayant de 6,478 kilogrammes. Une fois que ce formidable morceau de fer fut en place on fut libre de recommencer le broyage. Il ne fallut pas moins de quatorze mois de travail continu pour se débarrasser de cette maudite cuiller, et encore eut-on le bonheur de pouvoir en retirer d'un seul coup la moitié inférieure, ce qui abrégea l'opération et la réduisit à la moitié de ce qu'elle aurait pu être.

Comme on a eu mille fois raison de le dire, un malheur n'arrive jamais seul. Les efforts extraordinaires auxquels les ouvriers avaient dû se livrer, pour arracher ce terrible morceau de fer, avaient altéré la forme du trou. Les parties tendres, usées par le passage répété des ajustements, présentaient des cavités dans lesquelles les barres d'attache restaient à chaque instant engagées. Il faut lire dans Arago même (*Mémoire sur les puits forés*) ces notes écrites avec la plume impatiente d'un chercheur comme a dû être rédigé le journal de bord des pauvres caravelles allant à la découverte d'un nouveau monde.

« A 545 mètres on est obligé d'employer un ciseau... Enfin la cuiller remonte pleine. Sa partie inférieure contient un sable vert très-argileux qui vient faire renaître l'espérance un moment refroidie par l'interminable succession des bancs d'argile. Aussi, dès le matin, avant six heures, maîtres et ouvriers sont à leur poste.

« On se hâte de descendre la cuiller, sans que personne vou-

lût, pour aucun motif, consentir à s'éloigner du chantier de travail. Au bout de deux heures l'outil était arrivée au fond du puits. Il tourna d'abord assez librement et entra de $0^m.50$; c'était un heureux présage. Comme la sonde était un peu plus dure à tourner, on la dégagea en l'élevant de $0^m.50$; et l'on frappa légèrement au frein ; cette secousse fit entrer la cuiller de $0^m.10$. Les chevaux éprouvèrent d'abord de la résistance, et, après une violente secousse qui ébranla tout l'atelier, ils tournèrent sans effort. « *La « sonde est cassée, ou nous avons l'eau,* » dit le directeur du travail. Comme il descendait dans l'excavation pratiquée pour la manœuvre de la sonde, afin de voir si le niveau de l'eau était plus rapproché du sol, un sifflement se fit entendre, et l'eau jaillit avec force « au-dessus de l'accliquetage. »

Quelques instants après, le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, qui assistait alors à une séance de la chambre des Députés, recevait un billet laconique écrit au crayon sur un morceau de papier maculé de boue.

« Monsieur Arago,

« Nous avons l'eau.

« MULOT. »

Le produit de la vente des eaux aux particuliers et aux établissements publics ne tarda pas à montrer qu'en écoutant l'avis des hommes de science la ville de Paris avait fait un des plus merveilleux placements qu'il soit possible de réaliser. On aurait donc cru que la sonde municipale allait faire jaillir de nouvelles sources artésiennes ; cependant de longues années s'écoulèrent sans qu'on songeât à profiter du grand enseignement qui n'avait coûté à la caisse municipale que 350,000 francs, bien vite remboursés et au delà.

Il fallut peut-être la décadence des oasis algériennes, pour rappeler l'attention des hautes administrations sur la nécessité d'encourager les grandes opérations de sondage.

L'humanité et la politique s'opposaient également à ce que la France laissât envahir par le sable les oasis qu'elle avait conquises. Belle civilisation, en effet, que celle qui se serait bornée à combler

les puits, à couper les palmiers, à enfumer les Arabes dans leurs terriers !

La sonde de MM. Degoussée et Laurent fut chargée de rendre aux populations des ksour les eaux que les puisatiers indigènes ne pouvaient dégager des masses de sables qui les avaient noyées[1]. Depuis cette époque, des fontaines, des villages, ont surgi du désert ; les tribus ont repris l'habitude de fréquenter des routes, dont la soif les avait chassées. Dans l'espace de moins de quatre années, une cinquantaine de puits ont été creusés (juin 1860), versant chaque jour à la surface du désert une masse de 36 millions de litres d'eau, magnifique saignée pratiquée au torrent d'eau douce qui coule sous les argiles que recouvrent les masses arénacées formant le sol du Sahara.

III

A peu près à l'époque où l'attention publique se portait sur les sondages du désert, le gouvernement proposa aux ingénieurs la solution d'un problème analogue pour un autre usage. L'administration supérieure ayant conçu l'idée de transformer le bois de Boulogne en jardin anglais, il devint nécessaire de trouver les eaux courantes indispensables pour remplir les bassins et les lits des rivières artificielles, imiter la chute du Niagara, enfin animer les paysages que notre édilité se proposait d'offrir à la population de Paris.

Un ingénieur allemand, avantageusement connu déjà par des travaux qu'il avait exécutés au Creuzot, excita une surprise et une incrédulité générale en annonçant qu'il prenait l'engagement de faire sortir de terre un jet liquide dont le débit dépasserait 13,000 mètres cubes, si on voulait le charger de construire un puits possédant environ 1 mètre de diamètre dans toute sa longueur.

[1] Les puisatiers arabes, qui creusent les puits artésiens en descendant dans l'intérieur des trous, prétendent entendre l'eau couler sous les argiles. Avant de donner les derniers coups de pioche, ils se font attacher par des cordes afin qu'on puisse les remonter au plus vite lorsqu'ils auront frayé passage à une nappe d'eau qui se précipite entraînant les masses de sables et de rochers. On comprend qu'avec un pareil système on ne puisse pas descendre très-bas.

Si on suppose que les matières arénacées ou rocheuses qui composent la croûte terrestre possèdent une densité au moins double de celle de l'eau et que la hauteur du puits soit de 550 mètres, c'est un poids de plus de 400,000 kilogrammes, le chargement d'un trois-mâts, que cet étranger proposait d'arracher par fragments triturés aux différentes couches qui forment l'ensemble du sol parisien avec un outil long de plusieurs centaines de mètres.

Une commission composée d'hommes distingués ne recula pas devant une opération qu'on eût peut-être trouvée trop dispendieuse, s'il se fût simplement agi de donner des eaux potables à quelque quartier déshérité. Mais le superflu est, dit-on, une chose si nécessaire pour un peuple arrivé à un haut degré de civilisation, qu'il ne faut pas s'étonner de voir que les besoins du *luxe civique* aient provoqué des efforts plus énergiques que ceux de l'alimentation et de la salubrité.

Comme l'administration municipale était pressée de pénétrer jusqu'à la couche aquifère qui devait lui permettre de compléter son œuvre, on inséra dans le cahier des charges une stipulation portant que les travaux devaient être terminés dans le cours d'une année. Mais que de difficultés imprévues viennent toujours se jeter à la traverse des plans les mieux combinés! Aussi doit-on s'estimer fort heureux d'avoir atteint un résultat utile quoiqu'on ait dépensé quatre ou cinq fois plus de temps, et quatre ou cinq fois plus d'argent peut-être, qu'on ne l'avait supposé en inaugurant les travaux.

Après avoir épuisé la somme de 350,000 francs qui devait suffire d'après les devis primitifs, l'administration municipale restait libre d'interrompre les travaux de sondage. Heureusement un nouvel Arago n'eut pas besoin de réchauffer le zèle des conseillers en dissimulant la gravité des obstacles qui restaient à vaincre, et la commission municipale n'éprouva pas les mêmes défaillances que le conseil électif du temps de Louis-Philippe.

Le crédit primitif fut largement dépassé, mais qui songerait à s'en plaindre en présence des magnifiques résultats acquis? Si l'on n'avait jamais à reprocher que des prodigalités de cette nature aux corps représentatifs choisis par l'administration, on ne réclamerait sans doute pas avec beaucoup d'énergie un autre genre de contrôle des dépenses municipales.

Le travail de M. Kind se recommande par une innovation capitale. Le trépan qu'a employé cet ingénieur ne reste pas constamment attaché aux tiges rigides qui le soulèvent, comme celui du forage de Grenelle. La masse armée de pointes d'acier échappe aux mâchoires des pinces qui la tiennent suspendue, elle se précipite au moment où la tige descend, glisse dans une rainure et frappe le rocher qu'elle doit pulvériser avant que les ajustements rigides qui doivent la saisir soient venues la rejoindre, et fassent de nouveau corps avec elle.

Comme on le voit par la fig. 2 qui représente le trépan de face et la fig. 3 qui le représente de profil, les deux rangées de dents taillées en biseau dont le trépan est armé sont attachées au moyen de boulons qui permettent de les remplacer à mesure qu'elles sont émoussées ou brisées.

Grâce à cet artifice, la partie inférieure, garnie de pointes toujours vives, se précipite sur le

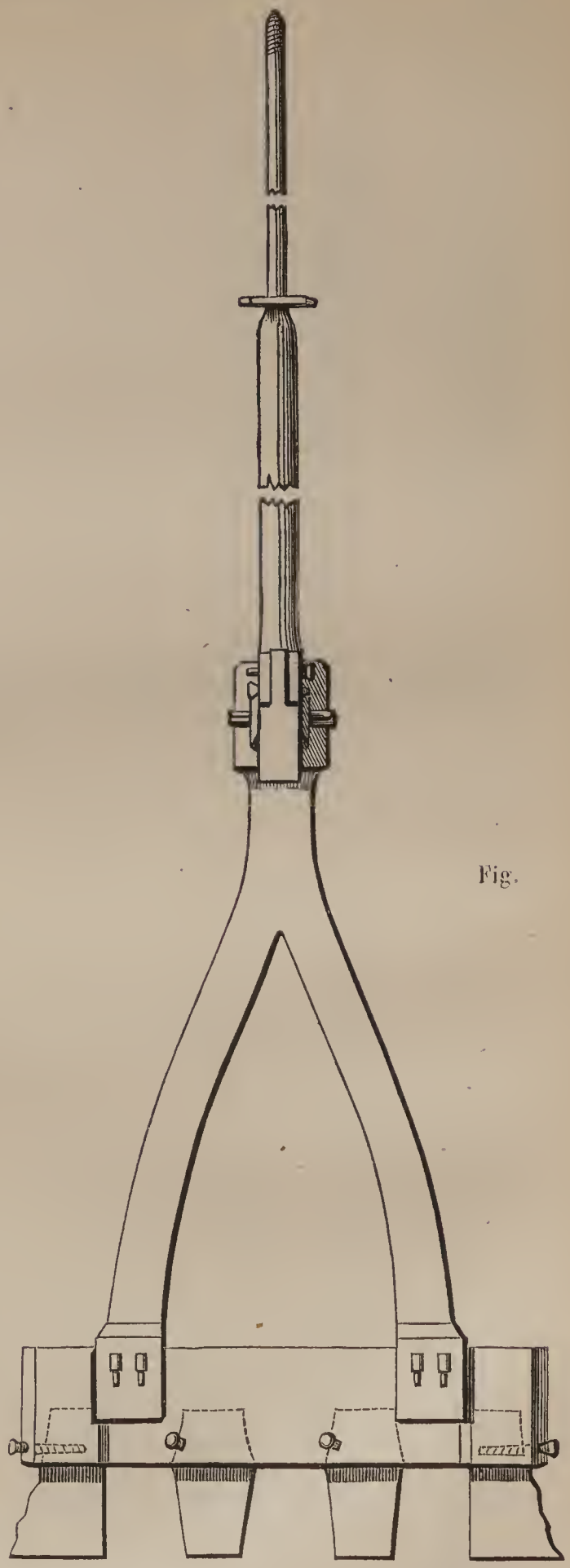

Fig. 13.

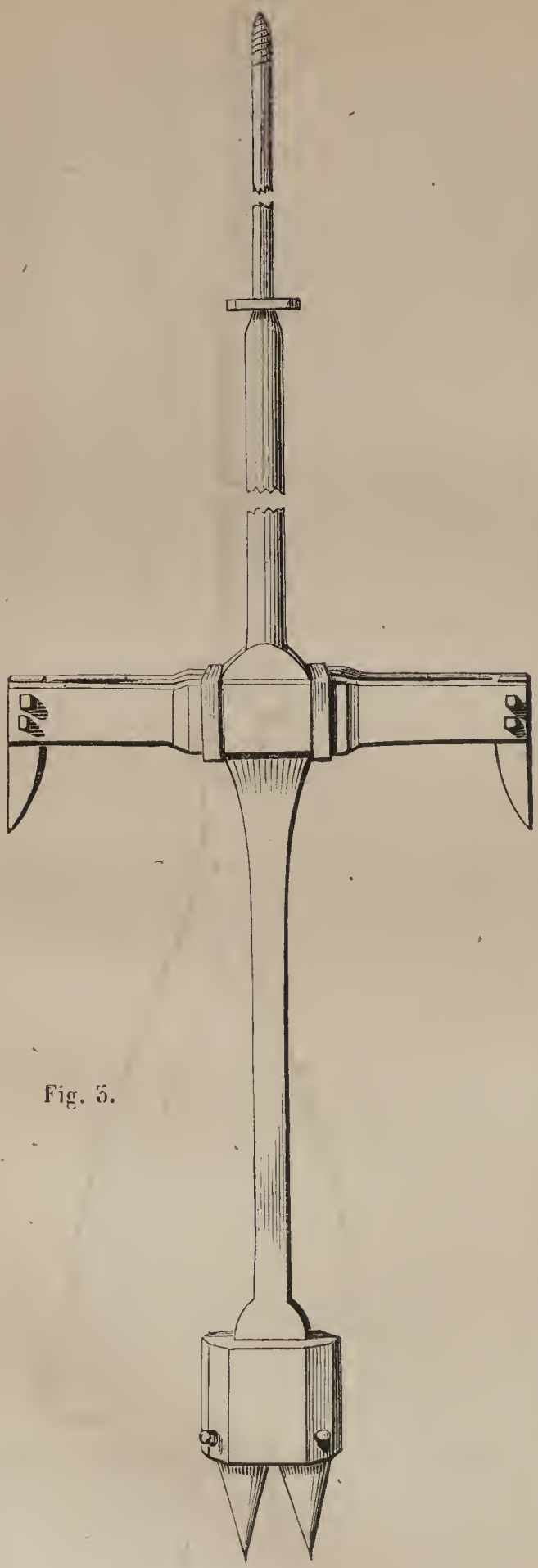

Fig. 5.

fond du puits avec toute la force accumulée dans un poids de plusieurs milliers de kilogrammes, abandonné pendant quelques fractions de seconde à toute l'action de la gravité. La violence du choc réduit en poussière les roches les plus dures, sans occasionner ces terribles vibrations qui avaient obligé les ingénieurs de Grenelle à revenir malgré eux à la tarière.

Une fois le coup porté, les pinces, mises en action par l'oscillation même des tiges, viennent saisir la masse de fer et l'entraîner de nouveau dans leur mouvement ascendant. Ces manœuvres, accomplies à trois, quatre ou cinq cents mètres au-dessous du moteur, se reproduisent vingt fois par minute, avec autant de régularité que si un ouvrier, placé au fond du puits, venait attacher le mouton avec une cheville, lorsqu'il faut le remonter, et lâchait une détente chaque fois qu'il faut le redescendre. Un disque assez flexible pour ne pas rompre, mais

assez ferme pour résister au mouvement de l'eau, est attaché à la tête d'une tige mobile, qui, suivant qu'elle monte ou qu'elle descend, ouvre et ferme les pinces au moyen d'une combinaison fort ingénieuse que notre dessin fera suffisamment comprendre. Car la figure de droite représente les pinces ouvertes ; pressées par la tige, que la réaction de l'eau sur le disque a fait glisser, elles viennent de laisser échapper la tête du trépan, qui est déjà arrivé à près de la moitié de sa course. On voit cet appareil devancer les pinces, qui, partageant le mouvement descendant des tiges rigides, se meuvent plus lentement et viendront le rejoindre une seconde après, alors qu'il aura donné son coup de bélier.

La figure de gauche montre la période inverse de l'opération. Les pinces, fermées par la réaction du disque au moment où la tige se relève, viennent de saisir la tête du trépan. Elles l'entraînent dans leur mouvement ascensionnel, et ne l'abandonneront que lorsqu'elles s'ébranleront pour descendre de nouveau et recommencer les mêmes alternatives.

Comme on le comprend facilement à la seule inspection des figures, l'appareil à déclic est placé dans une espèce de boîte longue. On a enlevé une des parois pour montrer le jeu du mécanisme.

Le système moteur est d'une simplicité également remarquable à tous les égards. Les oscillations des barres rigides de l'immense bras de cinq cents mètres qui supporte les pinces, sont produites au moyen du mouvement alternatif d'un levier en bois poussé par le piston d'une très-belle machine à vapeur de douze chevaux, qui existe encore actuellement au puits de Passy.

Les débuts de ce remarquable forage offrirent nécessairement la plus grande analo-

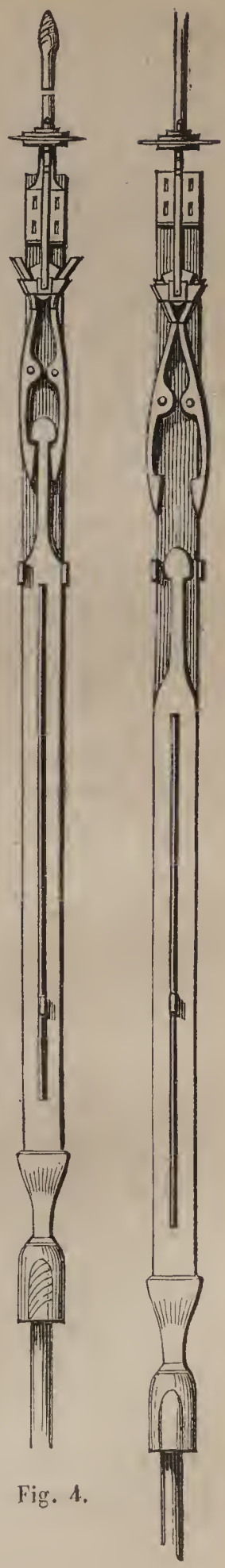

Fig. 4.

gie avec toutes les opérations analogues. On pénétra sans aucune difficulté dans la couche du calcaire grossier ; on rencontra pareillement les eaux parasites qui vinrent gonfler également les sables et les argiles ; après avoir eu à lutter contre plusieurs éboulements intérieurs, on reconnut qu'il fallait garnir le puits d'un tube de retenue, auquel on donna plus d'un mètre de diamètre et cinq millimètres seulement d'épaisseur. Malheureusement on ne suivit pas les conseils des ingénieurs qui proposaient de construire un puits maçonné pour traverser ces couches meubles.

Les opérateurs se donnèrent beaucoup de mal pour enfoncer un tube qu'ils durent surcharger d un poids de 22,000 kilogrammes, et qui devait bientôt céder à la pression des terres, mettant en danger le succès même de l'opération.

A peine avait-on triomphé de l'accident produit par la chute d'un morceau de fer pesant 25 kilogrammes, qu'on essaya vainement de retirer avec un électro-aimant extraordinairement énergique, construit par MM. Fabre et Kuneman, qu'on s'aperçut avec terreur que le tube supérieur s'était pour ainsi dire aplati. La sonde était bien parvenue, au bout de quelques mois de travail, à 528 mètres au-dessous du sol, mais les ingénieurs se trouvaient séparés du tube par une couche de débris de toute nature, et par le tube déformé que les argiles avaient écrasé.

La période critique des travaux de Passy fut, sans contredit, celle où les ingénieurs travaillèrent sans relâche à réparer cet accident, plus grave peut-être que la chute de la cuiller de Grenelle.

Des hommes compétents prétendent que la commission de surveillance des travaux n'a pas employé les procédés les plus économiques et les plus prompts pour remettre les travaux en état. « Nous pensons encore que, dans une ville comme Paris [1], où se trouvent abondamment, et à chaque instant, les machines, les pompes, les ateliers, le charbon.... l'économie réalisée eût été plus grande encore, si l'on avait fait exécuter ce travail par un maître mineur du Nord ou de Saint-Étienne, ou un maître porion, avec des hommes de leur choix, qui, dans leur vie souterraine, ont eu à surmonter des difficultés bien plus grandes. »

Quoi que l'on puisse penser de cette assertion, il est certain que

[1] Voir dans la *Revue scientifique des deux mondes* du 15 octobre un travail intéressant de M. Caillaux.

le contrôle de la presse indépendante a fait complétement défaut, et pour cause, à des travaux sur lesquels la discussion aurait jeté incontestablement une vive lumière. Les critiques, même injustes, auxquels les membres de la commission eussent été exposés dans un temps plus favorable à la discussion, auraient exercé une influence salutaire sur leurs décisions. Il serait injuste de demander à des savants de ne pas se sentir écrasés par le silence qui règne autour d'eux, d'apporter à leur mission le même génie que s'ils étaient sous l'œil d'un conseil électif et de journaux libres de leurs allures. Loin de nous cependant la pensée de leur reprocher trop amèrement les fautes qu'ils ont pu commettre, et de ne pas leur tenir suffisamment compte de l'immense résultat acquis par leurs soins.

Toutefois on ne peut s'empêcher de regretter qu'on ait eu la funeste idée de garnir le puits d'un cuvelage en bois, au lieu d'employer des tubes métalliques comme à Grenelle. En effet, les principes les plus élémentaires de la mécanique permettaient de prévoir qu'une grande partie des eaux allait être perdue, filtrer à travers les pores du bois et inonder les caves du voisinage, et pénétrer au travers de toutes les ouvertures distribuées le long de la colonne. Que de clameurs n'auraient pas poussées les journaux hostiles à l'Observatoire, si MM. Arago et Mulot avaient commis une faute de cette nature ! Il est vrai que l'hypothèse en elle-même est inadmissible.

La descente du tube en bois n'était pas, du reste, sans offrir de singulières difficultés, car on avait été obligé de le munir de cercles en forte tôle, espacés de 51 centimètres dans la partie supérieure, et de le renforcer au moyen de trois lanières en fer croissant de largeur à mesure qu'on se rapprochait du sommet. Un tube métallique eût-il été, en réalité, beaucoup plus difficile à manœuvrer que tout ce système qui ne devait former qu'une seule et même masse, ne pesant pas moins de 100,000 kilogrammes? Il est permis d'en douter ; mais, en tout cas, on ne serait probablement pas obligé de songer à le remplacer ou à le doubler avant qu'il eût été utilisé, tandis que les eaux qu'il devait retenir, coulant inutiles dans un égout, vont encore grossir le lit de la Seine.

Les ingénieurs qui furent adjoints à M. Kind, pour diriger l'opération mise en régie depuis l'épuisement des 350,000 fr. primitivement accordés, s'aperçurent bientôt que la descente du tube

présentait à la fois des difficultés et des dangers considérables. On tenait suspendu un poids effrayant de plus de 30,000 kilogrammes au-dessus d'un abîme de 400 mètres de profondeur. Quels désordres irréparables se fussent produits, si la masse avait rompu brusquement cordes, barres et freins !

Des propositions faites par M. Kind et par les ingénieurs furent écartées par la commission, qui, pressée sans doute d'arriver au terme de ses travaux, ne voulut pas entendre parler de mesures de précautions, telles que de remplir le trou de sable, destiné à amortir les chutes et devant être ultérieurement retiré avec une cuiller [1].

La colonne de bois cerclé en fer continua, sans accident, sa marche descendante; mais, au fur et à mesure que le cuvelage s'abaissait, son poids augmentait nécessairement, car l'on ajoutait à chaque instant de nouveaux cylindres en bois, et on les renforçait par des cercles de fer.

Le 6 mai 1860, il ne restait plus que 8 mètres à franchir pour atteindre le but tant désiré, lorsque les tubes semblèrent éprouver quelque résistance. Comme il fallait à tout prix triompher de cet obstacle, on desserra un instant les freins un peu plus qu'à l'ordinaire ; mais, le poids du cuvelage se trouvant supporté par les tiges qui soutenaient les lanières longitudinales, ces barres de fer rompirent instantanément, se brisant comme du verre, quoiqu'on leur eut donné plusieurs pouces de diamètre. Tout le système tomba donc comme une masse au fond du trou de sonde, venant frapper le sol en produisant un choc épouvantable. Heureusement le tube était si bien renforcé, qu'il ne parut pas le moins du monde en-

[1] On emploie quelquefois ce procédé pour certaines opérations, telles que le remplissage de beton de l'intervalle laissé entre deux tubes concentriques dont le plus voisin du centre est destiné à servir de conduit définitif. Cette manœuvre vient de donner lieu, en Allemagne (aux bains de Neumahr), à un phénomène très-remarquable. La partie inférieure du puits artésien était remplie de sable jusqu'à une profondeur de cinquante mètres, et les ouvriers étaient en train de travailler aux conduits devant mener l'eau dans les piscines destinées aux baigneurs, lorsqu'on vit la surface supérieure de la nappe liquide qui terminait le puits bouillonner, et des jets d'eau s'élever à deux ou trois mètres de haut. Après avoir duré quelques heures, le phénomène cessa. Il a reparu à plusieurs reprises depuis le commencement du mois d'octobre, et a lieu d'une manière intermittente. Pendant qu'il se produit, les sources voisines restent taries. (Voir le récit du professeur Noggerath, inséré dans la *Gazette de Cologne* du 12 octobre.)

dommagé par l'accident qu'on avait tant redouté, et la rupture des câbles ne fit qu'abréger l'opération du cuvelage.

A partir de ce moment, on procéda simultanément au forage et à l'élargissement du trou de sonde, de manière à faire descendre le cuvelage à mesure que le puits s'approfondissait, de sorte que l'on n'eût plus à redouter une chute, dont l'issue pouvait être plus funeste que celle du 6 mai n'avait pu être favorable.

Mais, à partir de 542 mètres 50 jusqu'à la fin de l'opération, toutes les pressions qu'on exerça sur la tête du cuvelage demeurèrent inutiles. Vainement on pratiqua péniblement un vide au-dessous du tube, en employant des outils de sondage d'une forme très-habilement combinée. On ne réussit qu'à provoquer des éboulements, qui bientôt compromirent une nouvelle fois l'avenir du forage. Un agitateur tomba même dans une des cavernes pratiquées au périmètre du trou ; mais, par un heureux effet du hasard, il disparut entièrement, et ne vint opposer aucun obstacle aux travaux ultérieurs. Il fallut donc se résigner à conserver un cuvelage branlant suspendu au-dessus de cavernes creusées par les éboulements et peut-être les érosions des eaux.

Enfin, le 25 mai 1861, on atteignit une couche de sable, et l'on reconnut que l'eau avait jailli dans le puits. Elle s'était élevée à quatre mètres au-dessous du sol, mais elle ne tarda pas à retomber à sept mètres plus bas.

L'examen géologique des couches traversées par le sondage et la comparaison des hauteurs ne tarda pas à convaincre les ingénieurs qu'ils étaient précisément arrivés au niveau de la couche de Grenelle. Si l'eau s'est arrêtée, au lieu de jaillir au-dessus du sol, ce n'est pas, comme on pourrait le croire, que le jet artésien possède moins de force ascensionnelle à Passy, c'est que le niveau des orifices supérieurs est bien différent dans ces deux sondages si voisins; Grenelle se trouvant à 49 mètres seulement au-dessus du niveau de la mer, tandis que Passy n'est pas à moins de 72 mètres d'élévation.

Quant à l'abaissement de 7 mètres que subit presque immédiatement le niveau des eaux dans le puits, il est assez facile de se rendre compte de ce phénomène.

Après avoir été obligé de laisser le cuvelage suspendu, on avait eu l'idée assez originale d'enfoncer, dans le tube extérieur, un petit tuyau dont le diamètre n'était que de 30 centimètres seule-

ment, de sorte que le forage se terminait par un étranglement comme la canule d'une seringue. C'était s'y prendre un peu tard pour donner raison à la théorie des petits diamètres que de changer de détermination au moment où tout annonçait l'approche des salles aquifères. Les eaux n'ayant pas tardé à remonter par l'espace vide laissé entre ce conduit intérieur et le cuvelage, il est infiniment probable qu'elles avaient ainsi pénétré [1] dans les couches de craie où elles s'étaient perdues.

Mais on ne devait pas en rester là... L'autorité préfectorale avait heureusement besoin qu'un succès éclatant vînt couronner sa campagne. La commission n'ignorait pas qu'un savant géologue, M. Walferdin, avait plus d'une fois attiré l'attention avec beaucoup d'insistance et de clarté [2] sur l'existence de plusieurs couches aquifères, qu'il avait démontré que ces sources devaient être d'autant plus chaudes, plus abondantes et plus jaillisantes, qu'elles se trouvaient enfouies à une profondeur plus considérable. On prit donc la résolution de continuer le sondage, et le premier acte de la reprise des travaux fut de procéder modestement à l'arrachage du tube de 30 centimètres, qu'on avait eu tant de mal à enfoncer.

Cette fois, on fit les choses avec un certain luxe; on renonça au bois qu'on remplaça par du métal, au petit diamètre, qu'on remplaça par un diamètre de 80 centimètres et aux feuilles de 5 millimètres, car on donna aux tubes une épaisseur de 2 centimètres. Espérons qu'on ne sera pas obligé d'arracher ce magnifique morceau de forge, qui pèse plus de 40,000 kilogrammes, quand on remplacera le cuvelage de bois dont l'insuffisance est amplement démontrée, et qu'on n'aura pas tardivement à se repentir de ne pas l'avoir construit en bronze massif, au lieu d'avoir eu recours à un métal trop facilement oxydable.

Le tube qui était destiné à terminer le forage est pourvu, à sa portion inférieure, de trous rectangulaires longitudinaux, destinés à maintenir ouverte une communication directe entre la colonne intérieure et les sables aquifères que l'on devait traverser pour pénétrer jusqu'à la nappe inférieure. On reconnut l'utilité de cette précaution, lorsqu'on fut arrivé à la couche des sables de Grenelle,

[1] M. Caillaux, sur le puits artésien de Passy. (*Presse scientifique* du 16 octobre.)

[2] *Comptes rendus de l'Institut*, passim.

laquelle possède une épaisseur de 2 mètres 50 centimètres. Mais, lorsqu'on atteignit la couche d'argile, sur laquelle cette nappe repose, le tube refusa net de glisser en avant, et il s'arrêta tout court comme l'avait fait précédemment le cuvelage en bois. On fut donc réduit encore une fois à creuser directement sans avoir recours à aucune espèce de tubage, et, après avoir foré pendant 7 mètres, on trouva la seconde couche aquifère, une de celles dont M. Walferdin avait annoncé la présence. Les calculs de la science positive recevaient ainsi une nouvelle et éclatante confirmation.

IV

A l'époque où il fut question d'entreprendre le forage du puits de Grenelle, on entendit émettre les observations les plus bizarres. Certains alarmistes ne craignaient pas d'imprimer dans des recueils ou des journaux influents « qu'on devait craindre qu'un vaste et profond éboulement ne s'opérât, par suite du creusement des sables par les eaux, qu'on pouvait s'attendre à voir un beau matin les eaux de la Seine s'infiltrer par quelque fissure et disparaître dans le gouffre que le puits de Grenelle aurait creusé. » D'autres, plus prévoyants encore, se demandaient « quel moyen existait d'arrêter la colonne d'eau du puits de Grenelle, dans le cas où la prudence obligerait de le fermer comme il en a été très-fortement question. »

Les progrès de l'esprit public ne permettent pas de se préoccuper aujourd'hui de pareilles chimères; mais est-on plus raisonnable qu'on aurait pu l'être alors pour utiliser les eaux, et doit-on se féliciter également des progrès de l'intelligence administrative?

Il ne peut évidemment pas être sérieusement question de lancer dans les bassins du bois de Boulogne une eau de qualité supérieure qui peut bien suffire à l'alimentation de trois ou quatre cent mille individus.

La faveur croissante avec laquelle la population parisienne a accueilli, dans sa consommation journalière, les eaux du puits de Grenelle qui paraissent analogues, sinon identiques, à celles de Passy, tranche la difficulté d'une manière victorieuse [1].

[1] La communauté incontestable d'origine des deux nappes et les rapports intimes qu'elles paraissent avoir l'une avec l'autre ne permettent pas de sup-

Le triomphe de la municipalité aura eu cela de particulier, qu'il lui coûte un des projets auxquels elle tenait le plus, celui des aqueducs destinés à amener des eaux lointaines. Quoique la commission administrative (improprement appelée Conseil municipal), entre les mains de laquelle se trouvent les intérêts de la grande cité, ne doive pas encore son mandat à l'élection populaire, elle ne saurait évidemment conserver un seul instant l'idée de persévérer dans une entreprise aussi dispendieuse, sans avoir apprécié l'importance réelle des résultats acquis à Passy.

Il n'est sans doute pas nécessaire d'insister longuement sur tous les avantages stratégiques qui résultent du forage d'un nombre de puits suffisants pour pourvoir à l'alimentation des capitales fortifiées. Mais nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer qu'une armée ennemie peut couper facilement les aqueducs destinés aux approvisionnements d'une place de guerre, tandis qu'elle ne peut rien sur les puits artésiens qu'elle possède dans l'intérieur de ses murs et qui lui appartiennent bien plus complétement encore que les fleuves qui baignent ses remparts.

Si on voulait alimenter Paris avec des eaux venant de loin, il

poser qu'il existe entre elles une différence assez grande pour interdire d'appliquer à l'une les conclusions qu'on peut tirer de l'étude de l'autre.

L'eau du puits de Grenelle, étudiée avec le plus grand soin par M. Peligot, offre lorsqu'on la reçoit dans un verre une apparence laiteuse due au dégagement de petites bulles de gaz. C'est l'aspect que prendra infailliblement l'eau du puits de Passy, lorsqu'elle se sera débarrassée du limon qui la souille encore. Soumise à l'ébullition, l'eau du puits de Grenelle a donné par litre 23 centimètres cubes de gaz, renfermant jusqu'à 22 pour cent de gaz acide carbonique.

En prenant des précautions spéciales, M. Peligot parvint même à constater que la petite quantité de gaz oxygène dont il avait constaté la présence avait été introduite pendant la prise d'essai destinée à l'analyse. On peut donc admettre que tout l'oxygène contenu dans les eaux, au moment où elles sont absorbées par les sables perméables, est employé à produire des réactions chimiques souterraines; il est probable que la veine fluide qui sort du puits de Passy ne contient pas d'autres gaz que celle du puits de Grenelle.

Le résidu salin donné par Grenelle donne 142 grammes par mètre cube. Si Passy offrait rigoureusement la même composition, ce serait, pour un débit de 7,000 mètres cubes, un total de 994 kilogrammes de matières salines arrivant chaque jour à la surface du sol, un peu moins d'une tonne métrique.

La majeure partie de cette masse se compose probablement de carbonates de chaux, de potasse et de magnésie, formant près des trois quart du poids. Les deux tiers du reste sont un composé renfermant du soufre et de la soude, groupés soit à l'état de sulfate, soit à l'état d'hyposulfite, enfin le fer à l'état

faudrait conserver un double jeu de tuyaux, ou au moins les réservoirs et les machines élévatoires actuelles, entretenir tous ces engins en état, pour le cas où arriverait quelque accident à l'aqueduc, par suite de guerre étrangère, de tremblement de terre, de révolution, ou même simplement de *fuite majeure*.

Les Romains, il est vrai, aimaient à construire des aqueducs pour amener, à grands frais, dans leurs villes, des ondes pures et limpides. Mais nous ne sommes pas condamnés, nous Français du dix-neuvième siècle, à la servile imitation de l'hydraulique des Césars. Nous n'en sommes plus à la physique d'Aristote, mais bien à celle des Baradaes, des Delarive, des Arago. En un mot, un travail gigantesque, qui eût suffi pour illustrer la mémoire d'un édile de Tibère et d'Auguste, ne servirait qu'à perpétuer le souvenir du faste du préfet de Napoléon III qui en ordonnerait l'exécution, et de la docilité de la commission municipale qui en accepterait toute la responsabilité.

de carbonate de protoxide de fer, et la silice * figurent dans une proportion appréciable (22 et 70 kilos sur 1,000). Enfin l'on ne trouve aucun des sels qui, comme le sulfate de chaux, doivent être considérés comme les plus funestes à la qualité des eaux.

La nature ferrugineuse de l'eau de Grenelle a donné naissance à une petite industrie fort curieuse qui se reproduira probablement à Passy. Le gardien du puits, ayant un jour oublié un verre dans le réservoir supérieur, le retrouva le lendemain recouvert d'un depôt ocreux très-visible. Depuis cette époque il eut l'idée de colorer en jaune par ce procédé économique des objets de cristal, qu'il vend aux visiteurs du puits, recouverts d'une couche très-belle et très-adhérente.

La masse d'eau qui sort du sondage de Passy exhale une odeur d'hydrogène sulfuré, qui frappait surtout dans les premiers temps tous les spectateurs. Ce n'est pas que les eaux soient en réalité plus fortement sulfureuses que celles de Grenelle; mais, la masse liquide étant beaucoup plus abondante, la quantité de gaz qu'elle laisse dégager croît dans la même proportion que le volume et acquiert des proportions suffisantes pour affecter désagréablement l'odorat.

En résumé, le travail consciencieux de M. Peligot confirme expréssément les résultats constatés journellement par les consommateurs, à savoir que l'eau du puits de Grenelle, au point de vue de son emploi dans les ménages et dans les usines, est une eau de bonne qualité, en raison de la minime proportion des matières salines qu'elle renferme.

* Il est possible que l'analyse spectrale (voir : Astronomie, les *Métaux du soleil*), indique la présence d'autres éléments et peut-être de métaux nouveaux, comme le *cæsium* et le *rubidium*, découverts par M. Bunsen dans des eaux minérales d'Allemagne, et que M. L. Grandeau vient aussi de déceler en proportions notables dans les eaux minérales de Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne).

Certainement il est bien difficile d'évaluer, même approximativement, l'importance réelle des nappes aquifères, dont on met à contribution les trésors. Rien n'empêche de concevoir que le forage d'un second tube ne diminue, dans une proportion notable, l'afflux de la veine liquide auquel le premier orifice a livré passage.

Ainsi, le puits de Grenelle qui, avant le 24 septembre, donnait 630 litres par minute, ne fournissait plus, au 8 octobre, que 430 litres. La production journalière était donc tombée à environ 640 mètres cubes ou aux deux tiers, et le sommet de la gerbe s'était abaissé de 4 centimètres. Peut-être cette circonstance est-elle purement fortuite, peut-être est-elle la conséquence de quelques-unes de ces irrégularités apparentes, de ces anomalies inexpliquées des cours d'eaux se trouvant enfouis dans des circonstances si différentes de ceux qui coulent à la surface du sol. Mais, même dans le cas où les deux nappes auraient, en réalité, des rapports intimes, et ne seraient pas séparées l'une de l'autre par une couche imperméable jusqu'aux terrains absorbants qui leur donnent naissance, il faudrait se garder d'en conclure que le forage des puits artésiens a donné tout ce qu'on pouvait en tirer.

En effet, comme le fait expressément remarquer M. Walferdin, « Dans les forages qu'il a pratiqués à Elbeuf, M. Mulot a constaté que la craie et ses marnes ont 134 mètres de puissance, tandis que les argiles inférieures n'ont guère que 7 mètres, et cependant ces dernières fournissent trois nappes jaillissantes. A Tours, l'épaisseur de la craie et de ses marnes est de 100 mètres seulement, et les argiles inférieures, qui ont 100 mètres d'épaisseur, fournissent huit nappes artésiennes.

« A Grenelle, au contraire, et par conséquent à Passy, l'épaisseur de la craie blanche et marneuse dépasse 450 mètres, les sables et les argiles qui recouvrent immédiatement la nappe jaillissante en ont 47. On voit donc que Paris occupe le centre d'un bassin où la craie possède une puissance très-grande, et qu'elle est au moins trois ou quatre fois plus épaisse qu'à Elbeuf et qu'à Tours.

« Si l'on admet, ainsi que cela se confirme déjà, que les sables et les argiles inférieures ont acquis, sous le sol parisien, un développement proportionnel à celui de la craie, il est facile de comprendre que ce n'est plus, comme à Elbeuf ou à Tours, une profondeur de 7 ou de 100 mètres qu'atteindront les argiles ; mais il faut s'at-

tendre à trouver encore des nappes jaillissantes à 250 ou 300 mètres, à partir du moment où la sonde quitte enfin la craie. »

Si l'on considère que la première des nappes aquifères correspondant à celle de Grenelle était moins abondante déjà que celle de Passy, qui correspond peut-être à la seconde, et que les couches les plus abondantes de Tours et d'Elbeuf ne sont pas les couches les moins profondes, on comprend facilement que l'hésitation n'est plus permise un seul instant.

Quand même on ne pourrait percer utilement qu'un puits artésien par nappe, on ne devrait s'arrêter, dans le forage, que lorsqu'on aurait successivement donné un écoulement à toutes les nappes qui sont étagées au-dessous de la capitale

Entre le puits de Grenelle et le puits de Passy, il y a eu un long entr'acte. Espérons qu'il sera moins long entre le puits de Passy et celui qui viendra après.

Mais espérons également qu'on comprendra enfin la nécessité de porter la plus vive lumière dans toutes les opérations qui tiennent à la pratique du sondage. Le forage des puits artésiens est une industrie nationale dans laquelle nos sondeurs se sont toujours distingués; c'est faire injure à leur science que de ne pas les admettre à l'examen des plans, que de ne pas leur fournir à tous l'occasion de prendre leur part de gloire dans ces gigantesques travaux. On a dit déjà bien des fois que de la discussion a jailli la lumière; il serait peut-être temps de montrer que l'eau peut aussi en sortir, l'eau claire, limpide, à meilleur marché que celle qu'on irait arracher à quelques sources isolées.

Quoi qu'il en soit, le forage du puits de Passy est une grande et belle œuvre, qui sera d'autant plus grande et plus belle qu'on saura plus habilement profiter de l'eau que donne ce sondage et des études que les péripéties de la construction ont permis de terminer.

V

Si on examinait le devis exact des dépenses que l'administration municipale se hâtera sans doute de nous communiquer, on aurait peut-être bien des regrets à exprimer. Mais, si on étudie cette grande œuvre à un point de vue élevé, comme une épreuve, une expérience sur une grande échelle, on arrive à déclarer que tout est pour le mieux dans le meilleur des puits possibles.

Toutefois l'opinion ne donnera ce bill d'indemnité à tous les tâtonnements, à toutes les erreurs, que si elle est persuadée qu'on profitera des expériences dont la ville doit payer les frais, et qu'on n'ira pas engloutir des millions dans des travaux hydrauliques qui, probablement, ne rapporteront rien à personne.

Si, depuis des siècles, les voyageurs ne se lassent pas de parcourir en tous sens notre planète pour en décrire les parties encore mal connues, si chaque jour s'étendent nos explorations, si le moment où nous connaîtrons toute la surface de la terre ne peut beaucoup tarder, il n'en est malheureusement pas ainsi de la géographie souterraine.

A partir d'une profondeur qui nous paraît immense, si nous la comparons à notre stature, mais dont les dimensions deviennent insignifiantes quand nous les mettons en regard avec le diamètre de notre planète, les couches souterraines sont aussi complétement inconnues que les planètes dont nous sommes séparés par plusieurs millions de kilomètres; que les étoiles, dont la lumière met plusieurs années à nous parvenir.

Quel intérêt, cependant, s'attacherait à cette exploration souterraine!

On sait que la température va en croissant avec la profondeur; les volcans et leurs masses de laves incandescentes, plus modestement les sources thermales, nous démontrent qu'à une certaine distance de la surface du globe il règne une chaleur excessive, qu'il n'est peut-être pas impossible d'utiliser.

Les peuples civilisés font d'énormes dépenses pour amener à la surface du sol du charbon destiné à produire de la chaleur; n'y aurait-il pas intérêt à risquer quelques capitaux pour essayer d'amener jusqu'à nous cette chaleur, au lieu de la matière destinée à la produire?

Est-il impossible d'envoyer de l'eau se transformer en vapeur à cinq ou six kilomètres de la surface du sol, pour faire travailler ensuite cette vapeur ramenée jusqu'à nos appareils?

Nous ne voulons pas nous engager dans des rêveries et des projets toujours dangereux, mais quiconque réfléchira à cette source de chaleur immense, inépuisable, que nous avons sous nos pieds, regrettera certainement qu'elle soit encore inexploitée, et considérera comme éminemment utiles tous les travaux qui auront

pour but de faire mieux connaître lesressources que recèle l'intérieur du globe.

Nous ne faisons au reste que joindre notre faible voix à d'autres plus autorisées. M. Elie de Beaumont, M. Walferdin, dont nous avons plus d'une fois rencontré le nom dans ces recherches, ont demandé, avec l'insistance que donnent une conviction raisonnée et l'autorité de longs travaux, le forage d'un puits d'étude, prolongé jusqu'à une profondeur au moins double de celle du puits de Passy. Un célèbre géologue allemand, M. Œyenhausen, le maître de M. Kind, déclare qu'en dix-huit années de travail continu on pourrait parvenir jusqu'à deux mille mètres[1].

Une des plus nobles entreprises à laquelle l'homme puisse se vouer ici-bas est la connaissance de l'univers, et nous avons, cette année même, entrevu déjà la véritable constitution du soleil ; c'est là, à coup sûr, une admirable découverte, mais notre globe lui-même nous touche de plus près... Il est honteux que nous n'ayons pu encore qu'égratigner son écorce, et que nos géologues ne sachent explorer qu'une profondeur de quelques centaines de mè-

[1] On observera peut-être qu'il est inutile de pousser les travaux plus avant une fois que la sonde aura atteint les terrains primitifs, qui doivent présenter une composition à peu près homogène jusqu'à de très-grandes profondeurs, et qu'il serait très-étonnant que le fer de la sonde rencontrât quelque filon. Mais il est facile de comprendre que le peu de dimension relative du forage (un demi-mètre carré au plus) se trouve compensé par la profondeur qu'on peut lui donner, et qu'un parcours d'un kilomètre dans les terrains primitifs permettrait de remuer huit millions de kilogrammes de roc. Le peu de dimensions latérales se trouve donc compensé par la possibilité de descendre plus avant, ce qui multiplie en conséquence les chances de rencontre, et donne la certitude de faire quelque découverte saillante. La détermination rigoureuse de la loi d'accroissement des températures est une question de la plus haute importance dans l'étude de la physique du globe, et les thermomètres de M. Walferdin donneraient des indications inappréciables si on pouvait les enfoncer à ces gigantesques profondeurs. Enfin, il serait possible, sinon de rencontrer des eaux ayant la température du corps humain (ce qui peut fort bien arriver), du moins de creuser un puits qui, comme nous l'avons dit, ferait l'office de chaudière, et qui, comme l'a proposé un savant, restituerait chaude l'eau qu'on enverrait se réchauffer à deux kilomètres au-dessous de nos pieds. On ne parle que pour mémoire de la possibilité de rencontrer des gaz chauds inflammables donnant à l'orifice du trou un jet analogue à ceux qui existent, dit-on, en Chine, et dont les habitants du Céleste-Empire se servent, paraît-il, pour chauffer certaines de leurs villes. On se contente également de rappeler les puits d'huile minérale que la sonde fait jaillir dans l'Illinois.

tres. Il faut aller plus avant, pénétrer au-dessous de cet épiderme... le puits de Passy n'est, nous l'espérons, que la première étape de ce voyage souterrain.

W. DE FONVIELLE.

II

LES MOTEURS A GAZ

I

La poudre à canon. — L'olivier de Minerve. — Le chapelain de Saint-Aignan d'Orléans. — Première machine à gaz. — Extrait d'une lettre de l'abbé de Hautefeuille à madame la duchesse de Bouillon. — Le protégé de Colbert. — Papin et ses successeurs. — Projets de Philippe Lebon. — Patentes et brevets. — Le nœud gordien.

La poudre à canon n'a pas été seulement, quoi qu'en disent les pessimistes, un engin de mort et de destruction, un des mille fléaux sortis de la boîte de Pandore pour le malheur du genre humain. S'il est vrai de dire qu'elle a entassé bien des ruines, il est juste de la faire profiter du bénéfice des circonstances atténuantes, et de placer, en regard du tableau des maux qu'elle a causés, celui des services qu'elle a rendus.

La poudre à canon, disent MM. Hubault et Marguerin dans leur *Histoire des temps modernes*[1], a fait passer le niveau sur toutes les têtes ; « elle a substitué la stratégie aux mêlées confuses des batailles féodales, assuré l'égalité du vilain et du chevalier sur le champ de bataille et préparé de la sorte la conquête de l'égalité civile. L'artillerie du roi, en détruisant les orgueilleuses forteresses des seigneurs rebelles, imposa à la noblesse provinciale le respect de la paix publique. »

Ainsi, au point de vue politique, la poudre fut un agent brutal, il est vrai, mais éminemment pacificateur. Telle Minerve, armée

[1] *Histoire des temps modernes*, par MM. Hubault et Marguerin. Paris, Désobry et Magdeleine, 1854.

de pied en cap, l'égide au bras, le casque en tête, frappa le sol de sa lance et en fit sortir l'olivier.

Ce n'est là, du reste, qu'un des côtés de la question. La poudre ne changea pas seulement la face de la vieille Europe ; elle avait de plus hautes destinées : à sa lueur, sur tous les points du globe, la barbarie recule épouvantée.

A d'autres points de vue, l'influence du nouvel agent ne fut ni moins grande ni moins civilisatrice. Les recherches de Roger Bacon furent fécondes pour la science ; alchimistes et physiciens y trouvèrent leur compte : ceux-là enrichirent leurs tablettes de recettes précieuses ; ceux-ci acquirent des notions plus exactes sur la force expansive des gaz. On apprit qu'avec un peu de salpêtre, de soufre et de charbon, non-seulement on allume des feux aussi brillants que les éclairs, non-seulement on lance des projectiles à des distances énormes, mais encore on engendre une force capable de faire sauter les rochers et de transporter les montagnes. — Le moine allemand qui, en 1320, vit éclater le mortier dans lequel il préparait son mélange, songeait à fournir aux hommes un agent de travail et de prospérité, bien plus qu'un instrument de mort et de ruine.

Si, malgré sa robe de bure, le moine de Fribourg n'inspire qu'une confiance médiocre, franchissons, d'un seul bond, un intervalle de plus de trois cents ans, et demandons du renfort à un savant du dix-septième siècle, *Jean de Hautefeuille,* chapelain en l'église royale de Saint-Aignan d'Orléans.

Parmi les armes que l'illustre abbé nous met entre les mains, il en est une qui nous semble invincible, c'est un opuscule qui parut en 1678. Cet opuscule a pour titre : « Pendule perpétuelle « avec un nouveau balancier, et la manière d'élever l'eau par le « moyen de la poudre à canon, et autres nouvelles inventions con- « tenuës dans une lettre de M. de Hautefeuille à un de ses amis. » Jamais titre ne fut plus pacifique.

Convaincu des services que la poudre à canon peut rendre à l'industrie, Hautefeuille construisit deux machines dans lesquelles il eut recours à cette matière.

« Repassant dans mon imagination, dit-il, toutes les forces qui pouvoient estre dans la nature, il s'en présenta à mon esprit une qui est infiniment plus grande que celle du vent, du courant des rivières et des torrents, et la plus violente qui ait jamais été. Cette

force est la poudre à canon, que l'on n'a point encore employée à l'élévation des eaux, et dont il y a deux manières.

« La première consiste à avoir un vaisseau de telle grandeur que l'on voudra, d'un muid ou deux ou davantage, lequel sera élevé à trente pieds de la surface de l'eau, et assez fort pour résister à la compression de l'air. »

Un tuyau qui plonge dans l'eau débouche dans le vaisseau ; celui-ci est muni de soupapes s'ouvrant de dedans en dehors. Une espèce de petit tiroir, ou, pour nous servir des expressions mêmes de l'auteur, une coulisse en manière de bassinet sert à mettre la poudre à canon.

« Il est visible que la poudre ayant été enflammée, elle raréfiera l'air enfermé dans le vaisseau et le fera sortir par l'ouverture des soupapes, lesquelles se fermeront aussi-tost ; et, ne pouvant rentrer, l'air qui pèze sur la surface de l'eau la doit pousser par le tuyau jusques dans le grand vaisseau que l'on vuidera par un robinet dans le réservoir.

« On mettra, si l'on veut, dans ce réservoir un pareil tuyau pour élever l'eau à soixante pieds, et un autre pour l'élever à quinze toises. »

Dans ce premier appareil, l'inventeur n'utilise pas directement la force expansive de la poudre, dont il se défie parce qu'elle est trop brisante ; il se borne à profiter du vide partiel que produit l'explosion. Mais l'abbé de Hautefeuille revint bientôt des terreurs que lui inspirait le ressort de la poudre. Dans son second essai, aucune force n'est perdue : l'eau est chassée par l'explosion comme la balle d'une arquebuse, et le vide qui succède à l'expansion aspire l'eau dans la culasse du système.

Le tuyau qui sert à l'ascension de l'eau a la forme d'un tube en U et plonge, par sa partie inférieure, dans un réservoir ; une soupape permet l'admission du liquide dans le tube et l'empêche d'en sortir. L'une des branches du tuyau, ouverte à son extrémité supérieure, a telle longueur que l'on veut et contient, de distance en distance, des soupapes s'ouvrant de bas en haut ; l'autre branche est courte et fermée.

« C'est de ce côté, dit Hautefeuille, qu'on met, dans le bassinet, la quantité de poudre qui est nécessaire, à peu près selon quelqu'une de ces manières si seures et si simples dont se sert depuis quelques années un de nos amis pour charger, par la culasse, les différentes armes de son invention.

« La poudre ayant pris feu, il faudra ou que l'eau monte vers le réservoir, à quelque hauteur qu'il soit élevé, ou que les tuyaux crèvent, ce qui ne peut arriver puisqu'on les suppose de cuivre, de fer ou de fonte, et si épais qu'ils pourront résister à la force de la poudre à canon.

« Je ne vous marque point la quantité de poudre que l'on doit employer à chaque fois, parce que cela dépend de la grandeur des tuyaux et de la quantité de l'eau qu'on élève ; joint que je n'ay fait cette expérience qu'en petit, de laquelle on ne peut point dire qu'elle ne réussira pas également en grand, étant plutôt de celles qui augmentent leur effet à mesure qu'on les fait plus grandes.

« Je ne vous marqueray point non plus les utilitez que l'on peut tirer de cette invention, si rien ne s'oppose à la réüssite, ny le grand nombre d'hommes, de chevaux et de machines qui seront épargnés dans les usines et dans les étangs et marais que l'on voudra dessécher, et en mil autres occasions. »

Ce langage, plein de vues élevées, n'est-il pas fait pour réconcilier avec le terrible agent ses ennemis les plus acharnés ?

On cite encore une troisième machine imaginée par Jean de Hautefeuille. L'opuscule dans lequel cette machine se trouve décrite est intéressant sous plus d'un rapport. Non-seulement il contient un autre modèle de moteur à poudre, mais encore c'est un monument de l'état de l'opinion commune, à cette époque, sur la récente théorie de Harvey au sujet de la circulation du sang. De plus, ce mémoire a son côté piquant : il commence par le portrait d'une femme célèbre à qui la science était assez familière pour qu'elle prît, chose rare, plaisir à se trouver avec des savants et à transformer son salon en laboratoire.

« L'avantage, dit Hautefeuille, dans son épître à la duchesse de Bouillon [1], l'avantage que j'ay receu de l'application que j'ay donnée

[1] Réflexions sur quelques machines à élever les eaux, avec la description d'une nouvelle pompe sans frottement et sans piston, et le moyen de faire des

à l'estude de la physique et des mathématiques, et de quelques découvertes que j'y ai faites, a esté, Madame, qu'à leur occasion, j'ay eu l'honneur d'être connu de Votre Altesse, de luy pouvoir quelquefois parler et de l'entretenir de ces sciences pour lesquelles elle n'a pas moins d'inclination et de pénétration d'esprit que pour l'histoire, pour la lecture des anciens autheurs dans leur langue, et pour tout ce qu'on appelle les belles-lettres. Ces cours de physique, ces dissections, ces expériences qu'elle fait chez elle, ses conversations avec les plus sçavans hommes, et la curiosité qu'elle a pour toutes les nouvelles découvertes en sont des preuves évidentes... »

Plus loin, il ajoute :

« Considérant un jour la structure du cœur, j'admiray l'arrangement industrieux de ce double rang de fibres qui tendent vers des parties opposées et qui vont se rendre à la base par des lignes spirales. Cette disposition me parut quelque chose de si beau, que je me persuaday qu'elle pouvoit servir de principe pour plusieurs machines, et qu'en imitant cette fabrique du cœur, on pouvoit faire des pompes sans piston et sans frottement. »

Mais, pour faire agir ces pompes, il fallait une force qui mît l'eau en mouvement. Cette force, Hautefeuille l'emprunta encore une fois à la poudre à canon ; « laquelle produit l'effet de la pompe aspirante par la raréfaction de l'air et celuy de la pompe foulante par son ressort. » Les moteurs inanimés ne sont pas toujours à la disposition de l'homme : l'eau se trouve généralement dans les lieux bas ; il y a beaucoup d'endroits qui en manquent; le vent ne souffle pas toujours ou souffle inégalement. — La poudre, « et cecy est une confirmation de la bonté de cette force mouvante inanimée, se peut employer en tout temps, en tous lieux, et sans embarras. »

On voit, par l'esprit qui règne dans toutes ces citations, que l'abbé de Hautefeuille, quoiqu'il parlât sans cesse de poudre et d'explosion, était loin de songer à ajouter le mousquet aux attributs de Bellone.

Les travaux de Hautefeuille sont le point de départ d'une longue

jets d'eau de la dernière hauteur, sans avoir besoin de réservoirs élevés, à Son Altesse madame la duchesse de Bouillon. Paris, 1692.

série d'essais que nous allons parcourir à grands pas, enfantement laborieux qui, après mille tortures, donnera naissance à la machine Lenoir.

Vers 1665, un savant déjà célèbre par plusieurs travaux remarquables, et surtout par la découverte récente d'un des satellites de Saturne et de l'anneau qui entoure cette planète, *Huyghens*, vint en France sur les instances de Colbert, et marcha sur les traces du chapelain de Saint-Aignan. C'est du moins ce que prétendit ce dernier, malgré les protestations du sieur de Zulichem. Lequel de ces deux savants disait la vérité? — S'il faut en croire l'avocat Arrault, le protégé de Colbert était un personnage d'une délicatesse douteuse. Il s'était attribué l'honneur de plus d'une découverte due à Galilée, avait pillé Descartes, et, afin d'autoriser ses usurpations et de surprendre l'opinion, avait fait publier ses prétendues découvertes dans le *Journal des Savants* [1].

Les apparences, nous devons l'avouer, ne sont pas favorables au physicien hollandais; on cite contre lui des dates accablantes. Dès 1678, Hautefeuille dressait le plan d'un moteur à gaz, tandis que la première mention authentique qu'en fait Huyghens est postérieure à cette date. De même on conteste à ce dernier l'invention du piston dans les machines, parce qu'il n'en parle dans aucune publication, avant l'année 1693.

Malgré le prestige de son nom, nous serions donc obligé de prendre parti contre Huyghens, tant ces dates sont éloquentes, si nous n'avions trouvé, en feuilletant les *Acta eruditorum* de 1688, un mémoire où *Papin* vient en aide à l'illustre accusé.

« C'est une belle et noble tâche, dit Papin, de tourner au profit des usages et des besoins des hommes, la force de la poudre qui n'a presque été, jusqu'à présent, qu'un instrument de destruction, de mort et de ruine....

« J'ai construit, ajoute l'auteur, une machine qui, à cause de sa petitesse, ne produit pas, il est vrai, d'aussi grands effets que ceux de cette autre machine dont les journaux ont parlé et qui a été mise sous les yeux de M. Colbert; cependant notre modèle permet

[1] Factum touchant les pendules de poche, etc., contre maistre Christian Huguens, sieur de Zulichem, de l'Académie royale des sciences.

de juger de ce qu'on peut attendre de cette invention, lorsque de plus grandes machines seront construites.... »

De qui peut être l'appareil dont il est question dans ce passage? Papin se charge de nous l'apprendre.

« Comme la machine présentée à M. Colbert n'a été, jusqu'à ce jour, décrite dans aucun journal de savants traitant de cette matière, on pourrait penser que je porte sur ladite machine un jugement téméraire. Je crois donc devoir avertir ici les lecteurs qu'à cette époque j'avais l'honneur de demeurer à la bibliothèque royale, chez l'illustre M. Huyghens, et que je l'aidais dans ces sortes d'essais. C'est moi-même qui préparai l'expérience devant M. Colbert. Il n'est donc pas possible de douter un seul instant que je ne connaisse à fond cette machine [1]. »

Ce qui ressort de tout cela, c'est d'abord que le moteur de Huyghens existait avant 1688, bien que l'inventeur n'en parle lui-même que cinq ans plus tard ; c'est de plus que Papin, après avoir travaillé pour son hôte, se mit bientôt à faire, pour son propre compte, de l'*artillerie industrielle*.

La machine de Huyghens, à laquelle Papin fait allusion, se composait d'un cylindre muni d'un piston. Une petite capsule, desti-

[1] « Nobile certè ac generoso pectore dignum molimen est, vim pulveris Pyrii ad commoda et utilitates hominum referre : quum hactenus nil nisi excidia, necem ac ruinas propemodum intulerit.....

« Machinam construxi quæ, quoniam exigua, non equidem tantos producit effectus, quantos præstabat altera illa in novellis memorata, quæ domino Colberto ostensa fuit : Verum tamen satis ex nostro specimine dijudicari potest, quid sit ex hoc invento expectandum, dum machinæ grandiores fient.....

« Quoniam vero machina illa domino Colberto oblata, in nullis Litteratorum Ephemeridibus, quæ talia argumenta tractant, hactenus edita est : facile quis existimet me nullo fundamento nixum, omnia hæc temerè proferre de dicta machina. Lectores igitur monendos hic arbitror, mihi tunc temporis id honoris obtigisse, ut in regia bibliotheca apud illustrissimum dominum Hugenium degerem, ipsique ad ejusmodi molimina meam præstarem operam; ipse ego experimentum coram domino Colberto institui : ac proindè nequaquam dubitandum est, quin mihi penitissimè cognita sit dicta machina. »

Acta eruditorum, anno MDCLXXXVIII publicata, ac serenissimo principi ac domino DN FRIDERICO, regnorum Daniæ ac Norvegiæ hæredi, etc., etc., dicata. — Lipsiæ.

née à recevoir la poudre, était vissée au fond du cylindre. On enflammait la poudre au moyen d'une mèche d'amadou.

« Aussi-tost que l'explosion a lieu, dit Huyghens, l'air du cylindre s'échappe par deux tuyaux de cuir qui s'étendent et sont aussitost refermés par l'air du dehors ; de sorte que le cylindre demeure vuide d'air, ou du moins pour la majeure partie. Ensuite le piston est forcé à descendre par la pression de l'air qui pèze dessus [1]. »

Dans la machine à poudre, imaginée par Papin, les tuyaux de cuir sont remplacés par de véritables soupapes ; aussi a-t-il raison de dire que son système est préférable à celui de son maître et ami. Toutefois ni l'un ni l'autre ne profitèrent des indications de Hautefeuille, qui, dans son second modèle, utilisait directement la force expansive de la poudre à feu.

Du reste, Papin renonça bientôt à faire usage d'une force aussi brutale que celle de la poudre. En 1690, il construisit une machine à piston, avec soupapes, marchant par l'action de la vapeur d'eau. Cette machine, restée célèbre dans l'histoire de la science, contenait le germe des deux idées fondamentales de nos moteurs actuels : le mouvement d'un piston par la force élastique de la vapeur et la destruction de cette force élastique par le refroidissement.

L'enthousiasme pour les moteurs à poudre fut donc de courte durée. A la fièvre qui avait régné pendant la fin du dix-septième siècle succéda une période de prostration ; pendant près de cent ans, on abandonna l'agent dont l'emploi pour les machines avait pourtant fait fureur. Le vent soufflait d'un autre côté. Papin, en renonçant à l'emploi de la poudre, avait donné le signal de la désertion ; tous les regards s'étaient portés du côté de la vapeur, agent plus discipliné, plus souple et non moins puissant. De là les ingénieuses recherches du capitaine Savery et les travaux de Watt.

Cependant, en 1791, un Anglais, *John Barber*, ouvrit une voie nouvelle aux constructeurs de machines à gaz. Il renonça définitivement à l'emploi de la poudre et substitua à cette matière un combustible gazeux, l'hydrogène. On voit poindre ici l'idée sur laquelle repose la machine Lenoir. Toutefois Barber, malgré ses conceptions

[1] Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air, par M. Huguens de Zulichem. — Paris, 1693.

hardies, n'obtint jamais de résultats satisfaisants. Il manquait deux choses à son projet : un piston et l'électricité.

En 1794, *Robert Street* rétablit, dans sa machine, le piston supprimé par John Barber. Ce piston était mis en mouvement au moyen de corps susceptibles de se transformer en gaz par la combustion et de se condenser par le refroidissement. A cet effet, il employait l'huile de pétrole, l'essence de térébenthine, etc.

Nous arrivons ainsi au seuil du dix-neuvième siècle. En 1799, *Philippe Lebon* annonça qu'il possédait un « moyen d'employer les combustibles plus utilement, soit pour la chaleur, soit pour la lumière, et d'en recueillir divers produits. » Deux ans plus tard, en 1801, il allait plus loin; il ajoutait qu'il était en mesure d'obtenir, par la distillation du bois et des matières grasses, un gaz capable de donner, non-seulement beaucoup de chaleur et de lumière, mais encore une force motrice considérable.

« Dans le cylindre A, disait-il, s'opère la combustion du gaz inflammable qui est introduit par le tuyau B, tandis que l'air atmosphérique, nécessaire pour la combustion, y est refoulé par le tuyau C[1]. »

Il suffit de citer ces quelques lignes pour montrer la clairvoyance de l'ingénieur Lebon. Il avait devancé son temps; il avait lu dans l'avenir, comme dans un livre ouvert, si bien qu'on se demande aujourd'hui comment près de soixante ans ont pu s'écouler, entre la description du moteur de Lebon et l'invention de la machine Lenoir.

Depuis 1801, les patentes et les brevets se sont suivis de près. En 1806, MM. *Niepce* imaginent de remplacer la poudre, soit par du lycopode, soit par une composition de houille et de résine pulvérisées; en 1807, M. *de Rivaz* propose un moyen de se servir de la déflagration de certains gaz inflammables pour remplacer la vapeur d'eau; en 1810, *Henri* construit sa machine à battre les pieux, en utilisant le ressort de la poudre à canon; en 1823, *Samuel Brown*.... Mais arrêtons-nous là; les brevets se succèdent ensuite presque coup sur coup. M. Tresca donne la liste de ces

[1] Certificat d'addition du 25 août 1801, au brevet pris par Philippe Lebon, le 28 septembre 1799.

brevets, à la suite d'un remarquable article publié, sur les moteurs à gaz combustibles, dans les *Annales du Conservatoire des arts et métiers*. Il suit, dans son énumération, l'ordre chronologique, et, passant rapidement en revue les principaux systèmes, nous signale, avec l'exactitude que chacun lui sait, leurs rapports et leurs dissemblances. Sans parler de la machine de l'ingénieur américain Ericson et des variantes auxquelles elle a donné lieu, on compte plus de quarante projets!

Cependant, au mois de janvier 1860, la solution du problème n'était pas encore trouvée; il n'y avait pourtant qu'à suivre trait pour trait les indications de Lebon. Mais il fallait être de force à les interpréter; les plus fines lames s'étaient émoussées sur ce nœud gordien.

Malgré les insuccès de ses devanciers, malgré les efforts infructueux de ses contemporains, M. *Lenoir*, qui depuis longtemps déjà poursuivait son idée, ou, comme on disait alors, sa chimère, entreprit de trancher la difficulté et de gagner une cause souvent plaidée et jusque-là toujours perdue.

II

La machine Lenoir. — Examen des prophéties dont elle a été l'objet. — La conservation de nos houillères. — Suppression des foyers fumivores. — Application des moteurs à gaz aux bateaux et aux navires aériens. — Utopie. — La locomobile de campagne. — Expériences du Conservatoire des arts et métiers. — Le problème de la distribution des petites forces à domicile. — Conclusion.

La disposition de la machine Lenoir rappelle, au premier coup d'œil, celle de nos machines à vapeur. — Le mouvement alternatif du piston, le jeu de la bielle et de la manivelle, le volant, certains organes de transmission, contribuent à cette ressemblance.

Si l'on regarde les choses de plus près, on remarque bientôt des différences notables qui avaient échappé au premier examen. C'est ainsi qu'on ne trouve plus, dans le nouveau moteur, ni foyer, ni chaudière; ce n'est donc pas la vapeur qui, par son ressort, met le piston en mouvement.

Mais alors quelle force mystérieuse donne la vie à la machine? — Hâtons-nous de déclarer que la magie ne joue aucun rôle dans ce prétendu prodige, que les gnomes et les esprits malins n'y sont pour rien. L'agent qui imprime le mouvement aux différents

organes est matériel, saisissable ; si saisissable même qu'on l'emprisonne sous les pavés de nos rues ; c'est le gaz de l'éclairage.

Il y avait deux manières de se servir de cet agent comme moteur : utiliser la force expansive que produit un mélange détonant d'air et de gaz, c'eût été revenir en partie aux premiers projets des machines à poudre ; ou bien profiter, pour dilater un certain volume d'air, de la quantité de chaleur que le gaz de l'éclairage développe en brûlant. Après de nombreux essais, de longues hésitations, M. Lenoir, rompant avec le passé des machines à gaz, s'arrêta à cette dernière idée.

Dans un cylindre horizontal divisé par un piston en deux compartiments, il fait arriver, au moyen d'un distributeur d'une forme particulière, une série de petits filets de gaz qui se mêlent à des filets d'air.

Lorsqu'on enflamme les veines combustibles, une certaine quantité de calorique se développe ; l'air intérieur que la combustion n'a pas décomposé s'échauffe, se dilate, et, par suite du ressort qu'il acquiert, chasse le piston devant lui. De toutes parts l'immobilité cesse ; une sorte de résurrection s'accomplit ; tout s'anime comme sous la baguette d'une fée.

La machine Lenoir est donc plutôt un moteur à air chaud ou mieux à air dilaté qu'une machine à explosion. Telle n'est pas cependant la croyance populaire ; on répète de tous côtés que le nouveau moteur marche par l'explosion du gaz. — La cause de cette erreur est la direction donnée aux premiers essais ; les petites détonations qu'on entend quand la machine fonctionne ont contribué à entretenir cette idée inexacte. On dirait, en effet, une nuée d'étincelles crépitant dans l'âtre.

Le système de l'ingénieur Ericson, si répandu sur le continent américain, que la seule industrie de New-York en possède plus de deux cents modèles, marche aussi par le moyen de l'air chaud. Tout le monde se souvient de la sensation que ce système fit en France vers 1852, et des épreuves récentes auquel il a été soumis.

Les moteurs Ericson et Lenoir sont donc deux machines rivales ; toutefois, malgré la popularité que les Américains ont faite à leur modèle, on ne peut s'empêcher de reconnaître son infériorité. Cette infériorité tient à la manière dont l'air y est chauffé. Le foyer, en effet, est extérieur au cylindre ; d'où il résulte que l'action du feu oxyde le métal, le déforme, le *grippe*. — Dans la machine Lenoir,

au contraire, le foyer est intérieur ; il est placé dans le cylindre même. Bien plus, pour éviter une trop grande élévation de température, on a la précaution d'envelopper ce cylindre d'un manchon dans lequel circule un courant d'eau froide. Grâce à la disposition que M. Marinoni donne à ce manchon, le courant d'eau circule automatiquement autour de l'appareil.

De quel genre est le foyer, à la flamme duquel le gaz s'allume dans l'intérieur du cylindre ? — C'est un foyer électrique, une série d'étincelles fournies par l'appareil de Ruhmkorff. Un commutateur, installé sur le bâti même de la machine et dont celle-ci règle le jeu, fait jaillir les étincelles tantôt d'un côté du piston, tantôt de l'autre. De là le mouvement alternatif de cet organe. Un volant, analogue à celui de nos machines à vapeur, sert à emmagasiner une certaine quantité de force et à dépasser les points morts.

Après avoir tracé cette rapide esquisse de la machine Lenoir, il nous reste à nous demander si cette invention, autour de laquelle on a fait tant de bruit, opérera, dans l'industrie, une émeute ou une révolution. Faisons donc le procès des diverses prophéties dont elle a été l'objet.

On a dit que la machine Lenoir reculera l'heure où nos houillères seront appauvries. — La prédiction se réalisera-t-elle ? — Nous ne le pensons pas. Il est vrai que, dans les ateliers et dans les usines où cette machine sera installée, il ne se fera plus aucune dépense de houille ; mais une quantité de charbon, à peu près équivalente à celle qu'on brûlerait dans le foyer d'une machine à vapeur, sera employée pour la préparation du gaz. La consommation de la houille ne diminuera donc pas sensiblement ; le point seul de la consommation sera changé, et l'appauvrissement dont nos houillères sont menacées planera toujours sur elles comme un malheur lointain.

On a dit encore que la machine Lenoir fera disparaître toute crainte d'explosion. Il nous semble que c'est avoir en elle une confiance exagérée. Il peut arriver, malgré toutes les précautions prises, qu'un mélange détonant se forme un jour dans le cylindre ; et alors, qui peut prévoir les suites d'une explosion ?

Ce n'est donc ni dans la conservation des houillères ni dans la suppression des dangers d'explosion qu'il faut voir les avantages du nouveau moteur ; mais on ne peut lui contester le mérite inhérent à la disparition du foyer : plus de foyer, c'est-à-dire plus de

fumée. Si la machine Lenoir tenait réellement ce qu'elle promet, les règlements d'administration qui, dans les grandes villes, enjoignent aux usines de se servir de foyers fumivores, tomberaient bientôt en désuétude; sans compter que la suppression de la chaudière, diminuant singulièrement les dimensions de l'appareil, permettrait au plus petit atelier d'avoir son moteur. Pour animer ce moteur, il suffirait d'ouvrir un robinet : la machine fonctionnerait instantanément et l'ouvrier se mettrait immédiatement à l'œuvre, sans souffrir des lenteurs d'un chauffeur ou d'un mécanicien.

A bord des bateaux où l'on est forcément économe de place, où chaque pouce de terrain a sa valeur, la machine Lenoir ne serait pas moins précieuse. On préparerait à bord du gaz hydrogène : il suffirait, pour cela, d'avoir une provision d'acide sulfurique et de ferraille; quelques tonneaux défoncés compléteraient l'attirail nécessaire pour la production et le lavage du gaz.

Les dieux franchissaient autrefois les espaces célestes sur des chevaux ailés; quoique la race de ces coursiers soit éteinte, les hommes n'ont pas renoncé à traverser les mers aériennes. Le jour où le problème de la navigation atmosphérique serait résolu, la machine Lenoir trouverait sa place à bord des aérostats. On construirait une machine légère qui ne nécessiterait plus un ballon gros comme un monde; la vitesse de l'appareil serait augmentée, et l'on pourrait peut-être atteindre les régions où soufflent des vents favorables. Ce n'est pas tout : il n'y aurait plus à craindre qu'une étincelle perdît le navire corps et biens.

Quant à l'application du moteur à gaz aux locomotives, elle nous paraît une utopie à laquelle il est sage de renoncer. Tous les projets qu'on a faits se ramènent à un seul : distribuer plusieurs appareils sur l'étendue du convoi et répartir ainsi uniformément la charge. Malheureusement l'expérience donne le démenti le plus formel aux résultats rêvés : l'adhérence sur les rails devient insuffisante et les roues des moteurs *patinent*.

En revanche, la machine Lenoir rendra plus d'un service dans les campagnes. Les locomobiles à vapeur que nous traiterons toujours avec ménagement, à cause des services qu'elles ont rendus à l'agriculture, sont difficiles à transporter dans les chemins de traverse et dans les sentiers; elles exposent la ferme à des chances d'incendie. Le moteur à gaz tient dans une caisse; on l'emballe comme un colis ordinaire. Il peut d'ailleurs être installé au milieu même

des corps les plus combustibles. — Mais, dira-t-on, comment se procurer du gaz en pleine campagne? — En faisant à la ville une provision de gaz comprimé, comme on y fait tant d'autres emplettes. Si on le préfère, on procédera sur place, comme à bord des bateaux, à la préparation du gaz hydrogène. Enfin on pourra substituer au gaz des huiles volatiles ou des carbures d'hydrogène liquides. Ces corps réduits en vapeur produiront le même effet que le gaz lui-même.

La plupart des avantages que nous venons de signaler n'ont de valeur que si le moteur Lenoir est économique, ou tout au moins s'il n'est pas beaucoup plus dispendieux que les anciens moteurs. Sous ce rapport, il est prouvé aujourd'hui qu'on a surfait le mérite de la nouvelle machine.

Les expériences les plus décisives qui aient été faites sont celles qui ont eu lieu au Conservatoire des arts et métiers, aux mois de janvier et mars 1861. « Autant que nous puissions le conclure des faits qui se sont produits devant nous, dit M. Tresca dans son rapport, la dépense est sextuplée, et nous attendrons de nouveaux faits avant de croire à la possibilité d'employer économiquement la machine à gaz pour remplacer la vapeur. »

Il résulte des expériences du Conservatoire que, par heure et par force de cheval, la dépense est de $2^{l},750$ de gaz d'éclairage; la dépense d'huile atteint 40 grammes, et la quantité d'eau nécessaire pour le refroidissement du cylindre est de 120 litres. Une machine de la force de 100 chevaux dépenserait donc 275 mètres cubes de gaz par heure. Or, à Paris, le mètre cube de gaz coûte 0 fr. 30 c.; cela donnerait donc un chiffre de 0 fr. 30 $\times$ 275 ou 82 fr. 50 c., en négligeant la dépense d'huile et celle que nécessite la pile. — Une machine à vapeur de la même force ne consommerait que 130 kilogrammes de charbon, ce qui représente une somme de 5 à 6 francs.

Dans les machines de petite force, la différence est moins considérable; cependant l'expérience prouve qu'on dépense encore cinq ou six fois plus qu'avec la machine à vapeur.

Les résultats que nous venons de citer peuvent-ils être mis en suspicion? — Non, car ils ont été obtenus dans deux séries d'expériences faites à deux mois d'intervalle, « en présence, dit le rapport, de l'ingénieur de M. Marinoni, et sur sa déclaration que toutes les réparations avaient été faites. Cet ingénieur avait lui-même

réglé le frein, à la charge qu'il avait considérée comme la plus avantageuse au point de vue de la meilleure utilisation du combustible. »

Comment se fait-il alors qu'on ait annoncé, en s'appuyant également sur des chiffres, que la machine Lenoir permettrait de réaliser une grande économie et l'emporterait, même pour de grandes forces, sur la machine à vapeur ?

Cette contradiction tient à ce que, dans la théorie, on a fait plusieurs hypothèses que la pratique réprouve. Par exemple, on a supposé que le gaz employé serait le gaz hydrogène pur et non le gaz de l'éclairage ; on a négligé les frottements ; on a évalué à une atmosphère la pression du mélange inflammable dans le cylindre. Ces trois causes d'erreurs ne sont pas les seules ; les autres sont consignées dans une note que M. Martinot a publiée, dans l'un des derniers bulletins de la *Société des anciens élèves des écoles d'arts et métiers*.

Pour clore le procès que nous avons intenté à la machine Lenoir, signalons, en terminant, l'influence qu'elle exerce sur les becs allumés dans le voisinage. Lorsqu'on établit directement la prise de gaz sur la conduite, les vacillations de la flamme sont telles, même à 30 mètres de distance, qu'il est impossible de les tolérer ; à 100 mètres, cette influence se fait encore sentir ; jusqu'à 10 mètres, il ne reste pas un seul bec allumé. A côté du mal il est juste que nous indiquions le remède. — Au lieu de prendre directement le gaz sur la conduite, on devra interposer un réservoir d'environ 300 litres de capacité pour une machine d'un cheval.

Malgré ces chiffres et ces critiques, il n'en est pas moins établi que la machine Lenoir laisse loin derrière elle et les moteurs à poudre, et les machines à explosion, et la machine Ericson. Elle résout, d'une manière très-remarquable, le problème de la distribution des petites forces à domicile. Nous conclurons donc, avec M. Tresca, que « si le moteur à gaz ne doit encore être recommandé que dans les cas où il n'est pas possible d'établir une machine à vapeur, ce moteur constitue cependant l'une des plus utiles conquêtes de la mécanique moderne. »

On dirait qu'il en est, dans le monde des idées, comme dans la nature vivante, où la naissance est précédée d'une longue gestation. La science a toutes les tendresses et toutes les défaillances

d'une mère : elle suit d'abord avec sollicitude les moindres évolutions du germe qu'elle couve dans son sein. Viennent ensuite les heures de doute, d'abattement, où elle porte impatiemment le joug qui lui semblait autrefois si doux. Enfin, elle reprend courage en songeant au jour de la délivrance!

Cette histoire est celle de la plupart des inventions. Près de trois siècles se sont écoulés depuis les premiers projets de Jean de Hautefeuille. Pendant ces trois siècles, quelles transformations, quelles métamorphoses, quelles vicissitudes les moteurs à gaz n'ont-ils pas subies? Leur dernière forme a été la machine Lenoir, que l'on a, depuis sa naissance, un peu traitée en enfant gâtée.

E. Menu de Saint-Mesmin.

PHYSIQUE APPLIQUÉE

I

REVUE PHOTOGRAPHIQUE

L'Exposition de photographie. — Condensation de la lumière. — Épreuves colorées. — M. Niepce de Saint-Victor. — Photosculpture, M. François Wilhème. — Épreuves gigantesques et microscopiques. — La photographie en voyage. — Photolithographie. — Photographie au charbon. — M. A. Poitevin.

Lorsque Jean-Jacques, il y a une centaine d'années, publia son premier discours, Diderot, qui s'était chargé de le faire imprimer, lui écrivit un billet pour lui annoncer sa publication et lui en signaler l'effet. « Il prend, lui marquait-il, tout par-dessus les nues : il n'y a pas d'exemple d'un succès pareil. »

On en pourrait dire autant de la photographie ; ce n'est plus un goût, c'est une rage ; il est impossible de passer dans une rue sans rencontrer une de ces montres de photographe où les portraits se coudoient, sans aucun souci de l'ordre social et de la hiérarchie, et j'y ai vu des têtes vénérables en bien légère compagnie.

Si on entre dans une maison amie pour éviter cette avalanche, on aperçoit aussitôt sur la table du salon un album rouge ou violet. Les portraits-cartes des parents et des amis y sont recueillis avec soin, y sont montrés avec complaisance ; c'est une épidémie, ou pour mieux dire une mode, et le mieux est de s'y soumettre sans murmurer.

Beaucoup de ces portraits sont au reste assez jolis, si nous faisons abstraction des fonds, dans lesquels, en vérité, on abuse un peu des cascades et des balustres ; on peut regarder ces petites photographies avec plaisir ; en général, le modèle s'allonge dans l'épreuve,

la silhouette gagne en élégance et les traits sont moins alourdis qu'à l'ordinaire.

On ne se contente pas, au reste, des portraits des siens, on veut avoir ceux des célébrités et des personnes à la mode, et, au moment du siége de Gaëte, on s'intéressait d'autant plus aux malheurs immérités de la gracieuse reine de Naples, qu'on l'avait admirée davantage drapée dans un grand manteau blanc festonné de noir et audacieusement coiffée de son petit chapeau à plumes, placé de côté.

Il semblerait, d'après l'exhibition perpétuelle qui se continue de la Bastille à la Madeleine, que le public dût être las de photographie et qu'une exposition spéciale fût inutile ; on n'en a pas jugé ainsi cependant, et nous avons eu, cette année, au palais des Champs-Élysées, en même temps qu'une exposition de peinture, la *quatrième exposition publique de la Société française de photographie.*

Cette exposition, il faut l'avouer, n'a eu qu'un médiocre succès; outre que les photographies courent les rues, on n'arrivait aux salles destinées aux tableaux peints par la lumière qu'après avoir examiné plusieurs centaines de mètres carrés de peinture, et, pour comble de malheur, quand le visiteur résigné à faire son devoir, se dirigeait vers les photographies, il était encore repoussé et découragé par l'aspect menaçant d'un second *tourniquet.*

Il n'effrayait cependant que les indifférents, et les zélés qui persistaient en étaient récompensés. Il y avait, en effet, à cette exposition des épreuves fort remarquables ; outre les photographies microscopiques et les épreuves gigantesques, nous avons vu des portraits grands comme nature, sans retouche, d'une rare vigueur et d'un bel aspect. Jusqu'à présent, cependant, la photographie grande comme nature convient mieux aux portraits d'homme qu'à ceux de femme; les traits mâles, caractérisés, les plans nettement indiqués, heurtés même, s'exagèrent dans leur sentiment par les vigueurs de la photographie; mais il n'en est plus ainsi pour le visage arrondi, pour le modelé fin et un peu mou que présente une tête de jeune fille ; si les ombres sont dures, les traits creusés, le charme n'y est plus, et d'une charmante personne la photographie ne donne souvent qu'un portrait d'autant plus désolant qu'il est à la fois laid et ressemblant ; nous laisserons au reste à d'autres cette discussion, et nous arrivons aux nouveautés scientifiques que nous avons pu remarquer dans le cours de cette année.

Il est impossible de faire une revue photographique annuelle sans rencontrer le nom de M. Niepce de Saint-Victor ; il a continué cette année une série de recherches très-intéressantes sur les corps susceptibles de condenser la lumière, c'est-à-dire capables d'agir encore sur des substances sensibles, après être rentrés dans l'obscurité. Si, par exemple, on expose pendant deux ou trois heures, aux rayons d'un beau soleil, la partie fraîchement cassée de la tranche d'une assiette de porcelaine, puis qu'on l'applique sur un papier préparé au chlorure d'argent, on obtient, après vingt-quatre heures de contact dans l'obscurité, une réduction du sel d'argent sur la partie du papier correspondant à la tranche de l'assiette qui a été frappée par la lumière, tandis que la partie de la tranche non insolée ne produit aucun effet.

La condensation de la lumière peut encore être obtenue, d'une façon très-remarquable, avec une plaque d'acier, qui d'abord parfaitement polie a été ensuite rendue rugueuse par l'action de l'acide azotique. Cette plaque, parfaitement purifiée de toutes souillures par des lavages à l'alcool, a été insolée trois ou quatre heures dans les conditions suivantes : moitié de la plaque polie et dépolie sous un écran opaque, l'autre moitié sous un verre blanc. La plaque a été ensuite recouverte d'un papier préparé au chlorure d'argent albuminé. Après vingt-quatre heures de contact, la partie dépolie qui avait été frappée par la lumière a réduit le chlorure d'argent ; la partie polie, et la partie dépolie non exposée à la lumière, n'ont produit aucune action. Une bande de verre fortement dépolie et parfaitement nettoyée à l'eau distillée a donné les mêmes résultats que la plaque d'acier; on a remarqué toutefois que la lumière a moins d'action sous un verre violet que sous un verre blanc. Ces expériences démontrent qu'il n'est pas nécessaire, pour que la réduction du sel d'argent se manifeste, qu'il y ait une action chimique, comme lorsqu'on insole un sel métallique avec une matière organique, ou simplement une des deux matières.

M. Arnaudon, chimiste de Turin, a répété les mêmes expériences dans différents gaz ; les résultats ont été identiques avec ceux qu'on avait obtenus à l'air libre. La lumière, condensée par certaines substances, pourrait encore, dit-on, produire des actions plus énergiques et plus extraordinaires, tellement extraordinaires même, que l'expérience nous paraît au moins douteuse. Quoi qu'il en soit, on assure que, si l'on place dans un tube de fer-blanc, tapissé d'un

carton imprégné d'acide tartrique et insolé au point de réduire très-facilement l'azotate d'argent, une petite vessie renfermant une faible dissolution d'amidon, on constate après quarante-huit heures que cet amidon réduit faiblement la liqueur de Barreswill (sulfate de cuivre, potasse, tartrate de potasse); un autre amidon, placé dans les mêmes conditions, moins l'insolation, n'a rien produit dans la liqueur. Ainsi, dans ce cas, il faudrait admettre que ce rayonnement *obscur* d'un corps insolé a agi assez fortement sur l'amidon pour le transformer partiellement en glucose; s'il en est ainsi, on a le droit de se demander comment l'amidon peut se conserver habituellement à la lumière, et cela pendant des années, sans être transformé.

Comment expliquer cette activité persistante donnée par la lumière aux corps mêmes les plus inertes? ce ne peut être un phénomène de phosphorescence, car, d'après les expériences de M. Edmond Becquerel, aucune substance ne conserverait cette activité aussi longtemps; M. Léon Foucault croit que les actions observées sont dues à un rayonnement invisible à nos yeux, agissant comme un gaz, puisqu'il ne traverse pas le verre.

Quant à nous, nous serions disposé à penser que les corps insolés conservent pendant quelque temps, dans l'obscurité, leur état vibratoire; de même qu'un solide, après avoir produit un son, continue de vibrer quoique le son ne soit plus perceptible; ces substances actives, comme les nomme M. Niepce de Saint-Victor, ne seraient donc pour nous que des corps capables de conserver leur état vibratoire pendant un temps plus ou moins long, après avoir été ébranlés une première fois par l'action directe de la lumière.

Une question que la photographie n'a pu encore résoudre est celle de la fixation des couleurs; M. Edmond Becquerel est parvenu à fixer le spectre solaire avec toutes ses couleurs sur une plaque sensibilisée; mais ces épreuves ne peuvent se conserver que dans l'obscurité, et, dès qu'elles sont sous l'influence des rayons solaires, elles se voilent, puis disparaissent. Il serait à désirer que cette expérience remarquable de M. E. Becquerel fût étudiée de près par les photographes sérieux et chercheurs; aucun problème ne présente plus d'intérêt, c'est celui vers lequel la photographie doit tendre toujours; elle ne sera arrivée à son apogée qu'autant qu'elle pourra faire sortir d'un bain, non plus une image noire et blanche, mais un véritable tableau, où toutes les richesses, les variétés des

couleurs seront reproduites avec la même finesse que le sont aujourd'hui les clairs et les ombres.

M. Niepce de Saint-Victor n'a pas encore résolu cette grande question; mais il est parvenu à obtenir des épreuves photographiques de couleurs bleue, rouge, verte; ces photographies colorées sont d'un joli effet; bien qu'elles soient déjà un peu plus stables que jadis, ces épreuves s'altèrent encore par une exposition continue à la lumière diffuse; les procédés se sont déjà perfectionnés cependant, car les épreuves que M. Niepce obtenait au commencement de ses recherches ne pouvaient supporter le moindre éclat de lumière diffuse; c'est grâce à l'emploi des sels d'urane qu'il est parvenu à résoudre cette question intéressante.

Pour obtenir une épreuve colorée en rouge, par exemple, il prépare le papier avec une solution d'arotate d'urane à 20 pour 100 d'eau; on fait sécher dans l'obscurité, puis on expose pendant un temps qui varie avec l'intensité de la lumière; l'épreuve est ensuite lavée à l'eau portée à 50 ou 60° centigrades, puis plongée dans une dissolution de cyanoferride de potassium à 2 pour 100. Après quelques minutes, l'épreuve a acquis une belle couleur rouge imitant la sanguine; il ne reste plus qu'à la laver à plusieurs eaux et à sécher. L'épreuve rouge obtenue par le procédé précédent devient verte, si on la plonge dans une dissolution d'azotate de cobalt, et qu'on la retire sans la laver; la couleur verte apparaît par une dessiccation au feu, on la fixe à l'aide d'une immersion de quelques secondes dans une dissolution de sulfate de fer et d'acide sulfurique, chacun à 4 pour 100 d'eau; on lave enfin à grandes eaux, et on sèche au feu. On obtiendra une couleur violette, en lavant à l'eau chaude au sortir du châssis, et en développant au chlorure d'or à 1/2 pour 100 d'eau. Pour avoir des épreuves bleues, on prépare le papier avec une dissolution de cyanoferride de potassium à 20 pour 100 d'eau; on expose sous le cliché, et on lave dix secondes dans une dissolution de bichlorure de mercure saturée à froid, on passe à une dissolution d'acide oxalique à 60 degrés, puis on lave à grandes eaux et on sèche.

Un jeune sculpteur, M. François Willème, a conçu une idée à la fois nouvelle et originale; il ne s'agit pas, dans la *photosculpture*, de reproduire en sculpture des œuvres fidèlement copiées par la photographie, mais d'exécuter, de calquer en quelque sorte une sculpture à l'aide de photographies.

Imaginons un modèle placé au centre d'une plate-forme circulaire, dont la circonférence peut être décrite par une même chambre noire, qui servira à prendre plusieurs images photographiques du sujet, sous différents aspects. Admettons, pour fixer les idées, que ces photographies sont seulement au nombre de quatre, prises l'une par rapport à l'autre à 90 degrés, et donnant, la première, A, sur la face; la seconde, B, sur le dos; la troisième, C, sur le profil de droite; la quatrième, D, sur le profil de gauche; les photographies obtenues, il faut les employer à reproduire en relief le modèle; pour cela, on installe la matière à sculpter sur un plateau dont la circonférence est divisée en autant de parties égales que l'on a pris de photographies, en quatre par conséquent. Deux tablettes équidistantes, dressées verticalement, mais dans des plans rectangulaires et perpendiculaires entre eux, pouvant s'éloigner ou s'approcher du plateau, portent : l'une, la vue de face A; l'autre, la vue du profil droit C; pour que ces deux photographies soient identiquement ou symétriquement placées, les tablettes comme les photographies sont divisées par un double système de lignes horizontales et verticales qui rendent l'orientation et le centrage faciles.

Les deux pointes d'un premier pantographe[1] sont appliquées, l'une sur la photographie A, dont elle suit tous les contours, l'autre sur la masse molle ou dure, qu'elle dépouille peu à peu de manière à tracer une silhouette qui est la copie fidèle de la silhouette de face donnée par la photographie A; un autre pantographe à angle droit avec le premier, dont une pointe suit la photographie B et dont l'autre agit sur le bloc, fait apparaître à son tour la silhouette du profil de droite. En même temps, les secondes pointes des deux autres pantographes rectangulaires, dont les premières pointes sont guidées de la même manière par les photographies B et D, dessineront sur le bloc les silhouettes du dos et du profil gauche; la masse à sculpter resterait encore informe après ces quatre opérations; mais rien n'empêche qu'au lieu de quatre photographies, on n'en prenne huit, douze, vingt-quatre... en un mot, le nombre nécessaire à l'apparition des contours extérieurs d'une manière assez continue, pour qu'il ne reste plus que quelques petites arêtes à corriger à la main. Dans tous les cas, le nombre des images devra être divisible par quatre, vingt-quatre est un nombre très-

[1] Instrument de dessinateur servant à calquer un modèle.

convenable et suffisant. Chacune des photographies portera un numéro d'ordre, depuis un jusqu'à vingt-quatre ; le plateau tournant portant le bloc sera lui-même divisé en vingt-quatre parties égales, les photographies sur lesquelles agiront simultanément les deux pantographes seront celles qui auront été prises à angle droit à 90 degrés l'une de l'autre : un et sept, deux et huit, trois et neuf, jusqu'à vingt-quatre et six, et, chaque fois que les tablettes recevront de nouvelles épreuves, le plateau tournera d'une division.

Mais cette série de vingt-quatre opérations ne donne que les contours extérieurs, et la statue ne sera complète qu'autant qu'on aura fait apparaître les contours intérieurs des oreilles, des narines..... M. Willème les obtient en suivant, avec les pointes du pantographe, non pas seulement les profils, mais les lignes d'ombre et de lumière qui dessinent ces reliefs et ces creux.

L'application que M. François Willème veut faire de la photographie à la sculpture est très-intéressante ; bien que son procédé ne soit encore qu'à l'état d'essai, il faut espérer que l'intelligent artiste pourra bientôt nous montrer une œuvre de sculpture obtenue seulement à l'aide des photographies prises sur l'original. Il y a, dans cette question, autre chose que l'original et l'imprévu ; car, une fois le procédé devenu pleinement pratique, il sera possible de reproduire à son aise, dans son atelier même, des copies fidèles des œuvres des grands maîtres, dont il aura suffi de prendre un nombre convenable de photographies, et cela à l'aide d'un appareil très-portatif que l'on aura combiné une fois pour toutes à cet effet. C'est là qu'est évidemment le côté utile et profitable de la question si ingénieusement soulevée par M. François Willème ; et nous désirons fort ardemment qu'il arrive à une solution définitive qui le récompense de ses nombreux efforts.

Nous avons dit plus haut qu'on avait pu voir à l'Exposition de cette année des épreuves photographiques de très-grandes dimensions ; on rencontre aussi, à chaque pas, sur nos boulevards, de beaux portraits grands comme nature, et nous devons indiquer en quelques mots comment on obtient ces grossissements d'épreuves.

Il est possible de fixer les images amplifiées par un jeu convenable de lentilles, en les recevant sur un écran sensibilisé ; et on obtient aujourd'hui de belles épreuves en grossissant de petits clichés à l'aide d'appareils fondés sur le principe du microscope solaire. On est arrivé ainsi à de bons résultats, on a fait de bonnes

épreuves et nous sommes loin de le nier; mais nous devons insister toutefois sur les épreuves présentées par M. Delessert à l'Exposition de cette année. On se rappelle qu'elles représentaient un portrait de femme en buste, une voiture attelée d'un cheval, enfin un cheval avec un groom, les uns et les autres grands comme nature. Si on fait abstraction de la qualité des épreuves, il est certainement intéressant d'avoir prouvé qu'il était possible d'atteindre de telles dimensions en amplifiant directement un petit négatif; mais la photographie touche de trop près à l'art pour qu'on doive se préoccuper, avant tout, de la difficulté vaincue; et, devant les résultats de M. Delessert, nous pensons qu'il faut se garder avec précaution du gigantesque. Quoi qu'il en soit, le grossissement des épreuves photographiques n'en reste pas moins un fait acquis.

Chacun se figure si bien, avec quels appareils on peut produire ces effets, que nous n'en aurions pas parlé, si un Américain, M. Woodward, n'avait fait grand bruit, dans ces derniers temps, d'une chambre solaire construite, disait-il, sur des principes tout à fait nouveaux; on lui a prouvé qu'il nous apportait d'Amérique une nouveauté parfaitement ancienne, et on a même retrouvé, dans un coin d'une galerie du Conservatoire des arts et métiers, un système d'optique en tout semblable au sien..., mais qui date du physicien Charles!

M. Bertsch a fait construire, pour agrandir les épreuves, un instrument simple et commode, avec lequel il peut grossir de très-petits clichés; il repose sur les mêmes principes que le microscope solaire.

Après avoir cherché à grossir démesurément les épreuves photographiques, on devait naturellement chercher à les réduire aux plus petites dimensions possibles; cela n'a pas manqué: à l'exposition de photographies, le public paraissait s'amuser beaucoup à regarder à travers des chatons de bague, de broches et d'épingles des épreuves microscopiques, et les visiteurs non initiés à cette innovation en étaient d'autant plus intrigués, que peu de personnes pouvaient parvenir à voir quelque chose. A ces bijoux se trouve adapté un petit système lenticulaire qui renferme une épreuve photographique microscopique complétement invisible à l'œil nu, mais qu'il est facile d'apercevoir en regardant à travers la lentille oculaire placée devant cette épreuve; on la voit agrandie, comme si on l'observait au microscope, puisque l'appareil n'est en réalité qu'un

petit microscope simple. En ce moment, ces stanopes (tel est leur nom) sont fort à la mode, et il s'en confectionne une grande quantité. Ceux qui ont attiré l'attention du public à l'Exposition sont dus à M. Dagron.

M. J. Duboscq a construit un petit appareil à l'aide duquel il peut obtenir ces épreuves microscopiques ; cet instrument consiste en un cadre rectangulaire renfermant la glace et pouvant se déplacer par un mouvement horizontal ; d'un côté se trouve un objectif de microscope composé ayant un mouvement vertical de haut en bas ; du côté opposé est placé un microscope muni d'un micromètre.

Pour opérer, on place le négatif de l'objet à reproduire à distance convenable ; puis on regarde avec le microscope l'image formée sur la glace par l'objectif ; il faut que sur les lignes du micromètre vienne se dessiner nettement cette image, ce qui permet de mesurer l'étendue des épreuves ; on est alors au point par rapport au micromètre par conséquent, par rapport à la glace collodionnée, puisque le plan du micromètre coïncide avec celui de la glace collodionnée. On n'a donc plus qu'à faire glisser la plaque devant l'objectif, de manière à impressionner ses diverses parties ; à la fin de chaque rangée horizontale, on monte l'objectif d'une division, et de nouvelles petites épreuves viennent se placer au-dessus des premières ; le mouvement horizontal se composant de quinze divisions, le mouvement vertical de six, on peut placer quatre-vingt-dix épreuves sur une même glace ; on les découpera ensuite pour les monter sur bijoux.

Dans les voyages, on regrette souvent de ne pouvoir emporter avec soi des souvenirs matériels des points de vue ou des monuments qui ont excité l'intérêt ou l'admiration ; les peintres eux-mêmes manquent souvent du temps nécessaire pour exécuter une simple esquisse. C'est alors que l'on reconnaît un des premiers avantages de la photographie, qui permet d'obtenir très-rapidement, et avec la plus grande fidélité, les moindres détails d'un point de vue. Mais beaucoup de personnes hésitent à s'embarrasser d'un matériel photographique.

M. J. Duboscq vient de disposer un appareil destiné à simplifier le plus possible les opérations, et spécialement à obtenir des vues photographiques pendant un voyage ; il l'a nommé, en conséquence, le polyconographe de voyage.

Cet appareil se compose essentiellement de trois parties : la chambre noire, le porte-glace, le trépied ou support. Rien n'est plus simple ni plus portatif que cet ensemble. La chambre noire a la forme d'une lunette composée de deux cônes réunis par leurs bases ; à la base du cône antérieur est un verre dépoli sur lequel se dessine l'image de l'objet que l'on regarde ; au sommet de l'autre est une lentille convexe servant d'oculaire, tandis qu'à celui du cône antérieur se trouve un système de deux lentilles achromatiques qui constituent l'objectif. Le porte-glace est un grand cadre dans le fond duquel on a disposé, dans l'ombre du laboratoire, la glace collodionnée et sensibilisée ; la face antérieure de ce cadre est complexe dans sa disposition : elle est munie d'une série de cinq rangées de trappes doubles dont les coulisses fonctionnent en sens inverse l'une de l'autre ; sur la coulisse supérieure se visse le cône antérieur de la lunette.

Chaque rangée est partagée en trois parties par des écrans noirs verticaux, et le mouvement inverse des coulisses a pour effet de faire occuper ces trois cases à la lunette, en même temps que de découvrir à mesure la partie de la glace collodionnée qui lui correspond; de cette manière on peut placer trois vues par rangée et, par suite, quinze vues sur la glace entière. La distance de l'objectif au verre dépoli dans la lunette représente exactement l'épaisseur de la chambre noire; si donc l'objectif est au point par rapport au verre dépoli, il le sera aussi par rapport à la glace collodionnée. Le trépied porte à ses deux pieds de devant deux crochets sur lesquels on fixe le cadre pendant l'opération. Sur la coulisse supérieure du porte-glace se trouvent deux vis dans lesquelles s'engage la lunette par deux fentes à baïonnettes, quand on veut la mettre au point.

Pour opérer, on cherche, la lunette complète à la main, le passage à reproduire, on la fixe au porte-glace et l'on se met au point, on ôte l'objectiff et on le fixe à la coulisse supérieure de la première rangée, le cadre reposant sur les pieds du support ; on fait alors fonctionner les coulisses et, posant à la manière ordinaire, on tire le nombre d'épreuves que l'on veut, sans autre travail que le jeu des coulisses.

De même que l'on a sensibilisé la glace dans le laboratoire avant de partir, on révèle et on fixe au retour ; on tire ensuite les positifs à la manière ordinaire. Les épreuves obtenues ainsi sont naturellement très-petites, mais nous avons indiqué plus haut par quels

procédés on pourra les grandir. Dans le cas où un amateur ne voudrait avoir aucune opération à effectuer, rien n'est plus simple que de faire sensibiliser une glace avant son départ et de l'envoyer révéler et fixer à son retour par le photographe.

L'appareil complet est éminemment portatif, le cadre se place dans une gibecière que l'on met en sautoir, la chambre noire se met dans sa poche, le trépied sert de canne.

Cet appareil facilitera, nous l'espérons, le nombre des photographies destinées à faire connaître les beautés naturelles ou artistiques que les voyageurs seuls pouvaient admirer autrefois.

Un des résultats intéressants auquel puisse espérer parvenir la photographie est son application à la lithographie; si l'on découvre, en effet, un moyen de reproduire à l'aide de la lumière une gravure, un cliché quelconque sur une pierre lithographique, on pourra ensuite en tirer tant d'exemplaires qu'on voudra par le procédé d'impression ordinaire, et c'est la photographie cependant qui aura tracé le dessin sur la pierre. Ce serait à coup sûr un résultat magnifique que de remplacer par le travail de la lumière les anciens procédés, si laborieux et si difficiles, de dessin sur pierre lithographique. C'est ce but que vient d'atteindre d'une manière remarquable M. Alph. Poitevin, après de nombreuses et laborieuses recherches ; il a nommé photo-lithographie l'art nouveau qu'il est parvenu à créer.

Au mois de décembre 1854, en étudiant l'action de la lumière sur une couche de gélatine mêlée à une dissolution de bichromate de potasse, M. Alph. Poitevin remarqua l'insolubilité complète dans l'eau chaude qu'acquiert la gélatine lorsqu'elle est mélangée à un bichromate alcalin et qu'elle a été influencée par la lumière. Il observa également que non-seulement la gélatine perdait sa solubilité, mais aussi la propriété qu'elle a de se gonfler d'environ six fois son volume lorsqu'on l'immerge pendant un certain temps dans l'eau froide. Il fonda sur cette propriété de la gélatine bichromatée et insolée un procédé qu'il nomma hélioplastique, pour obtenir des planches en creux dans le genre des gravures à l'eau-forte, et un procédé pour obtenir des planches en relief dans le genre des clichés typographiques.

Au mois de janvier 1855, M. Alph. Poitevin étudiait l'action de la lumière sur des mélanges de bichromate de potasse et de gomme

arabique, d'empois d'amidon et surtout de gélatine ou d'albumine ; il reconnut alors que l'acide chrômique décomposé par les rayons lumineux rendait tous ces corps insolubles dans l'eau ; il appliqua aussitôt cette propriété et en fit la base de nouveaux moyens d'impression typographique.

Ce procédé reçut un commencement d'application industrielle ; il est connu sous le nom de procédé au charbon ; nous en ferons rapidement connaître le principe, puisque les nouveaux travaux de M. Alph. Poitevin n'ont eu réalité pour objet que son perfectionnement.

A un volume d'albumine étendue d'eau, battue et passée dans un linge fin, on ajoute un volume égal de dissolution concentrée de bichromate de potasse, on imprègne un côté seulement du papier de cette dissolution ; une fois sec, on l'impressionne au-dessous du cliché négatif du dessin à reproduire, en l'exposant pendant dix ou quinze minutes au soleil : on peut d'ailleurs se rendre compte de l'action de la lumière par la teinte brun jaunâtre que celle-ci communique au papier ; on applique ensuite au tampon de l'encre grasse d'imprimerie suffisamment fluide, et on en couvre d'une couche mince toute la surface impressionnée; on plonge dans de l'eau distillée cette feuille recouverte d'encre, puis on la retire, et avec le même tampon on enlève, par un travail régulier, toute l'encre grasse qui se trouve sur les parties où l'albumine est restée soluble.

En opérant sur la pierre lithographique de la même manière que sur le papier, on obtient des résultats bien plus complets ; c'est ainsi que M. Alph. Poitevin est parvenu à créer l'industrie à laquelle il a donné le nom de photo-lithographie ; ce procédé est exploité par l'imprimeur M. Lemercier.

M. Alph. Poitevin ne s'est pas arrêté à ces premiers résultats : non content de fixer ces photographies, à l'aide du charbon, sur pierre et sur papier, il a voulu les obtenir sur verre et sur porcelaine.

Depuis longtemps on a reconnu que les sels de sesquioxyde de fer étaient ramenés à l'état de sels au minimum sous l'influence de la lumière et de certains composés organiques, tels que l'alcool ou l'éther ; mais, pour appliquer cette propriété à l'impression photographique, il fallait avoir recours à des substances réductrices non volatiles : l'acide tartrique convient surtout pour produire cet effet ;

comme sel de fer au maximum, le perchlorure est celui dont l'emploi est le plus avantageux.

Quand on veut opérer, on fait séparément deux dissolutions, l'une de vingt-deux grammes de perchlorure de fer dans cent grammes d'eau, l'autre de dix grammes d'acide tartrique également dans cent grammes d'eau; on mélange ces liquides à volumes égaux : si on imbibe un côté d'une feuille de papier de cette dissolution et qu'on l'expose à la lumière, on remarque que le papier devient perméable à l'eau dans les parties qui ont reçu l'action lumineuse ; M. Alph. Poitevin pensa à se servir de cette propriété pour produire à la surface du papier des images avec des poudres quelconques ; il suffit, en effet, de mouiller légèrement la feuille du côté non impressionné par la lumière, avec de l'eau légèrement gommée qui ne traverse le papier que dans les endroits où la préparation a été modifiée et retient les poudres que l'on y applique ensuite avec un pinceau ou un tampon de coton.

Mais on obtient un effet bien plus remarquable encore en remplaçant le papier par des surfaces de verre : on remarque alors qu'après l'action de la lumière à travers le négatif, les parties modifiées par la lumière se recouvrent spontanément d'humidité et que la couche sensible, de sèche qu'elle était avant l'impression, est devenue déliquescente par l'action seule de la lumière. Ce fait a conduit M. Alph. Poitevin à l'impression photographique au charbon et aux couleurs en poudre, sur verre, sur porcelaine et sur émaux.

On étend sur une surface de verre dépoli, bien unie et parfaitement nettoyée, le liquide préparé comme nous l'avons dit plus haut, on fait sécher cette plaque dans l'obscurité (la plaque ainsi préparée peut être conservée très-longtemps); on voit, à ce moment, sur la surface sensible une trace d'image qui se dessine en blanc sur le fond un peu jaune de la préparation ; mais en quelques secondes, par l'effet de l'humidité atmosphérique, l'épreuve, vue sous un certain angle de réflexion, s'accuse d'une manière beaucoup plus nette : c'est à ce moment qu'on la fait sortir avec une facilité prodigieuse au moyen d'un blaireau qu'on trempe dans une poudre impalpable (qui peut être de telle couleur qu'il plaira à l'opérateur de choisir); on frotte l'épreuve en tous sens, la poudre reste adhérente en plus ou moins grande quantité partout où la lumière a frappé plus ou moins vivement, et accuse les moindres détails avec une finesse vraiment merveilleuse. Lorsque l'épreuve

est suffisamment développée, on la recouvre d'une couche de collodion normal épais, on lave à l'eau ordinaire, puis à l'eau légèrement acidulée, pour séparer plus facilement le collodion de la glace, puis on détache cette couche de collodion sur une première feuille de papier sans apprêt. Cette même couche de collodion sur laquelle se trouve l'image est reportée sur une feuille de papier gélatiné, à laquelle, cette fois, elle reste parfaitement adhérente. Après cette opération, l'image se trouve redressée.

Ce qui caractérise le procédé de M. Alph. Poitevin et surprend au premier abord, c'est la simplicité des manipulations et le grand éclat qu'il a su conserver aux blancs. Avec un semblable procédé on peut faire rapidement un grand nombre d'épreuves indélébiles, puisqu'elles peuvent être formées par le charbon. On peut aussi varier les colorations suivant les épreuves, reproduire avec une exactitude merveilleuse les dessins à l'encre, au crayon, à la sanguine, et même on pourrait obtenir, sans aucun doute, des épreuves de plusieurs teintes. Si l'on désire obtenir une peinture sur verre ou sur porcelaine, on se sert d'oxydes métalliques ou d'émaux en poudre pour développer le dessin, et l'on soumet la plaque, dans un moufle, à une chaleur suffisante pour liquéfier le fondant ou l'émail.

Voilà certainement un grand pas de fait par la photographie ; il y a déjà longtemps que nous avons dit qu'une de ses plus utiles en même temps qu'une de ses plus belles applications serait son adjonction à la lithographie ; le problème nous paraît bien près d'être résolu, même industriellement ; quoique bien récent, le nouveau procédé photographique aux poudres colorées, sur papier et sur verre, a déjà un grand succès dans le monde photographique.

La photographie doit donc beaucoup à M. Alph. Poitevin, car le charbon est une matière parfaitement stable, nullement altérable à la lumière, et on pourra dorénavant, sans danger, placer des photographies dans des livres, les renfermer dans des cartons, ou les exposer à la lumière, sans craindre, en aucune façon, qu'elles s'affaiblissent pour disparaître bientôt définitivement.

M. Alph. Poitevin a donné aux épreuves la fixité et la durée qu'elles n'avaient pas, c'est un des progrès les plus remarquables qu'on ait constatés depuis longtemps.

Ernest Saint-Edme.

II

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

La lumière électrique à l'Opéra. — Éclairage des villes. — Emplois de la lumière électrique à bord des bâtiments. — Dans les phares. — Conclusion.

Le célèbre chimiste anglais sir Humphry Davy, à qui on doit la décomposition des bases alcalines au moyen de la pile électrique, en fit sortir aussi pour la première fois une puissante gerbe de lumière; en terminant les pôles d'une forte pile par deux morceaux de charbon taillés en cône et approchés l'un contre l'autre à une distance convenable, il obtint le premier arc voltaïque.

Cette belle découverte resta pendant de longues années une curiosité scientifique, tant on rencontrait de difficultés pour obtenir une pile d'une intensité suffisante : celle qu'avait employée Davy était à un seul liquide et ne comptait pas moins de deux mille couples.

La lumière électrique ne se vulgarisa que lorsqu'on put employer pour la produire les piles à deux liquides ; aujourd'hui, avec une pile de Bunsen de cinquante couples, on obtient une fort belle lumière d'une intensité constante, résultat auquel Davy n'avait jamais pu arriver. La plus grande difficulté était dès lors vaincue, et il fut possible de chercher des applications à la lumière émise par l'arc voltaïque, qui reçut définitivement le nom de lumière électrique.

Ce ne fut cependant que bien plus tard, lorsque vinrent les appareils qui, sous le nom de *régulateurs photo-électriques*, permettent de manier si aisément la lumière électrique, qu'on put se familiariser avec elle. Le principe sur lequel reposent ces appareils est des plus simples.

On obtiendra la lumière électrique toutes les fois que l'on approchera à une distance convenable les deux charbons qui forment les pôles d'une pile suffisamment énergique : une vive lumière est projetée, les charbons brûlent avec une grande intensité, la matière se transporte d'un pôle à l'autre; la distance des charbons augmente donc, elle devient bientôt telle, que la résis-

tance à vaincre par les deux fluides pour se combiner est plus forte que leur tension, le circuit extérieur est rompu : la lumière cesse de se produire ; pour la faire renaître, il suffit de ramener les charbons à leur distance première. Pour avoir un arc lumineux continu, il faudrait donc pouvoir toujours rapprocher les deux charbons d'une quantité égale à celle dont ils s'écartent par suite de leur combustion et du phénomène de transport qui l'accompagne. M. Foucault, en France, MM. Straite et Pahic, en Angleterre, les premiers résolurent la question.

Son régulateur photo-électrique fut bientôt suivi d'autres appareils se proposant le même but, en reproduisant le même principe sous des formes différentes.

Aujourd'hui, c'est l'appareil de M. J. Duboscq qui est en faveur, surtout parce qu'il a été appliqué par son inventeur à toutes les expériences d'optique que l'on reproduit dans les cours publics à l'aide de la lumière électrique ; il est aussi très-avantageux pour tous les effets d'éclairage. — On doit aussi à M. Sewin une disposition ingénieuse pour empêcher les charbons de se souder, contact qui, établissant le circuit intérieur, interrompt la lumière. Lorsqu'on eut des appareils capables de produire une lumière continue, il devint possible de chercher des applications à la lumière électrique ; c'est au théâtre qu'elle débuta, lors des représentations du *Prophète* à l'Opéra, pendant l'hiver 1846-1847 ; elle servit à produire un effet de soleil levant. Tout le monde se rappelle le succès qu'obtinrent ces premières tentatives.

La cause de la lumière électrique était gagnée, on y eut recours toutes les fois qu'on dut obtenir un brillant effet lumineux.

M. J. Duboscq est actuellement chargé, à l'Opéra, de lancer les rayons de cet astre nouveau pour lequel il a toujours eu un culte particulier, et l'on peut voir, aujourd'hui, avec quelle habileté il l'emploie dans la *Magicienne*, les *Elfes*, le *Papillon*, *Pierre de Médicis*, etc. Les succès de la lumière électrique ne se bornèrent pas au théâtre, elle fut aussi chargée d'éclairer la dernière fête de la République, en 1851. Elle contribua encore à l'éclat du bal donné par Sa Majesté l'Impératrice, lors de l'inauguration de l'hôtel d'Albe.

La lumière électrique ne devait-elle donc avoir que ces usages mondains, et ne pouvait-on espérer lui trouver quelques applications plus sérieuses ? Avant son invention, le nombre des expériences d'op-

tique faites dans les cours de physique était bien restreint, surtout dans les leçons du soir et notamment au Conservatoire des arts et métiers, où cependant les expériences se font sur une si grande échelle; car il avait été, jusqu'alors, impossible de remplacer le soleil. Pour rendre les phénomènes visibles à un si nombreux auditoire, il faut nécessairement les projeter sur un écran, il est donc indispensable d'avoir à sa disposition une source lumineuse d'une grande intensité. C'était, on le voit, une application toute trouvée pour la lumière électrique, et les auditeurs assidus des cours de physique lui doivent une vive reconnaissance, car les expériences fondamentales de l'optique n'ont été vulgarisées que depuis l'emploi de la lumière électrique.

Elle pouvait encore rencontrer une application plus importante dans l'éclairage des places, des grands centres, des longues lignes droites dans les villes : cette question, soulevée pour la première fois il y a déjà quelques années, fut bientôt abandonnée; en sera-t-il encore ainsi aujourd'hui? Il s'agissait alors des travaux de construction du pont Notre-Dame, du déblaiement des docks Napoléon, du nouveau Louvre, etc.; c'était donc à des travaux de nuit que l'on appliquait la lumière électrique, et tout ce qu'on lui demandait, c'était de fournir à chaque ouvrier l'éclairage strictement nécessaire à son travail, et non une illumination.

On a pu, pendant ce premier essai, se convaincre des difficultés que rencontrerait un système d'éclairage continu à la lumière électrique; la principale est qu'on ne peut distribuer plusieurs arcs voltaïques sur un circuit électrique, on est donc contraint de n'éclairer qu'un point d'une place, les environs restant dans l'obscurité, puisque l'intensité de la lumière décroît comme le carré de la distance. A cette même époque, la lumière électrique ne pouvait être comparée à celle donnée par le gaz de la houille quant au prix de revient, M. Ed. Becquerel ayant calculé qu'à égalité d'effet, l'éclairage au gaz coûtait 0 fr. 80, tandis que l'éclairage électrique revenait à 3 francs. Cette différence de prix tenait à la dépense énorme causée par l'entretien d'une pile de Bunsen de soixante éléments au moins; mais on peut aujourd'hui suppléer à la pile par l'emploi d'une machine magnéto-électrique; la question se trouve donc dans de nouvelles conditions qu'il nous faut examiner.

Dans le nouveau système dont il s'agit, la pile électrique est exclue ; elle est remplacée par une machine à vapeur, qui met en mouvement une roue garnie de forts aimants. Ces aimants, disposés circulairement, viennent, par l'effet de la rotation imprimée à la roue, passer devant et très-près d'armatures en fer doux, entourées de fils de cuivre recouverts de soies. Ce passage détermine dans ces fils des courants induits instantanés, et dirigés alternativement en sens contraire. Les courants eux-mêmes sont tous recueillis par deux fils collecteurs qui les conduisent au régulateur photo-électrique ; ces fils font donc l'effet de ceux qui terminent les pôles d'une pile, ce sont les pôles de la machine magnéto-électrique. La machine qui a servi aux essais est formée de six rouleaux de seize bobines chacun, en tout quatre-vingt-seize bobines ; les aimants sont mis en mouvement par une machine à vapeur, faisant trois cents tours à la minute, consommant six kilogrammes de coke par heure, ce qui donne la force d'un cheval-vapeur ; le régulateur fournit, dans ces conditions, une lumière continue équivalente à celle de trois cents bougies environ, soit soixante-quinze lampes Carcel. On serait tenté de croire que la dépense nécessaire pour ce mode d'éclairage est inférieure à celle qu'exige tout autre mode capable de produire une lumière équivalente; mais ne faut-il pas faire entrer en ligne de compte l'intérêt des sommes déboursées pour l'achat et l'installation de ces machines qui sont très-dispendieuses? Nous reviendrons plus tard sur l'intérêt que nous présentent ces appareils électro-magnétiques.

Le public parisien a été mis, cette année, parfaitement à même d'apprécier les avantages et les inconvénients de ce mode d'éclairage : la place du Carrousel, celle du Palais-Royal, les boulevards, ont été tour à tour silonnés par ces vifs rayons émanant de l'arc voltaïque. — Faisons abstraction pour un instant des frais d'installation, d'entretien, qui doivent nécessairement mettre le prix de revient de l'éclairage électrique au moins égal à celui de l'éclairage au gaz (c'est du reste ce qui ressortira du travail encore non terminé de MM. Ed. Becquerel et Tresca); et ne jugeons plus que la nature même de l'éclairage obtenu. Chacun sera certainement frappé comme nous de la trop grande vivacité de cette lumière, lorsqu'on se trouve directement placé dans la zone des rayons, et de l'obscurité presque absolue qui règne dans les points qui ne reçoivent aucun des rayons directs? Or, on le sait, les effets

de pénombre sont indispensables pour un bon éclairage. Si l'on peut admettre enfin cette clarté blafarde, livide même de la lumière électrique pour l'éclairage de quelques travaux de nuit, est-il possible de l'imposer à toute une ville? Nous ne le pensons pas. Les habitants de Paris ne consentiront jamais à s'en accommoder; il suffit de comparer, pour en être persuadé, l'aspect que présentent actuellement nos grands centres, nos longues lignes droites, tels les boulevards, la rue de Rivoli, la place de la Concorde, etc., illuminés et égayés par leurs milliers de becs de gaz aujourd'hui si artistiquement construits, avec l'aspect que leur donnerait ce clair de lune pâle et livide engendré par la lumière électrique.

En résumé, nous ne pensons pas qu'il y ait intérêt à employer la lumière électrique comme moyen d'éclairage : l'économie est au moins douteuse; il y a certainement désavantage à concentrer en un seul point la totalité de lumière à déverser sur un espace donné; enfin on a compris combien serait désagréable, regrettable sous tous les rapports, l'aspect donné à nos places publiques par la lumière électrique. Nous sommes donc bien loin de voter en sa faveur en cette circonstance.

Mais nous approuverons toutes les applications qui nous paraîtront heureuses et avantageuses, et d'abord celle que l'on en fait en ce moment à la photographie. A première vue, l'énormité des frais paraît rendre la question insoluble ; cela serait vrai si la lumière électrique était employée pour tirer de simples épreuves ; mais elle devient réellement avantageuse s'il s'agit d'agrandissement [1].

Nous n'avons pas besoin, en outre, de nous appesantir sur le nombre malheureusement trop considérable d'accidents qui surviennent en mer par suite de la rencontre des bâtiments, soit pendant la nuit, soit le jour, par les temps de brume; ne doit-on pas attribuer ces malheurs au mauvais système d'éclairage adopté même sur les navires de l'État? Quelle clarté peuvent lancer la nuit ces fanaux juchés dans la mâture, pour peu que le temps soit un peu couvert, et comment peuvent-ils lutter contre l'épaisseur des brouillards qui s'élèvent si fréquemment de la surface des mers? Imagi-

[1] Voir la *Revue photographique*, p. 186.

nons qu'à la place de ces lampes impuissantes on vienne à mettre un appareil photo-électrique, dont l'emplacement serait convenablement choisi, de quelle quantité de lumière ne serait-il pas environné, avec quelle puissance ce faisceau lumineux traverserait l'espace par les temps les plus sombres pour signaler au loin l'approche du navire! Ne serait-ce pas là une belle et utile application de la lumière électrique ?

La solution du problème était impossible en employant la pile de Bunsen comme source génératrice d'électricité; mais, depuis que l'on a appliqué en grand les machines magnéto-électriques, rien n'est plus simple que de monter un semblable appareil sur un bâtiment et de détourner de la machine à vapeur une force d'un cheval pour le mettre en fonction. Le prix de revient disparaît au milieu des énormes dépenses causées par les longs voyages, tandis que la sécurité se trouve considérablement augmentée.

Les appareils usités d'ordinaire soit pour les expériences d'optique, soit pour les effets d'illumination, ne peuvent être employés dans ce cas spécial, car ce sont de véritables horloges trop faciles à déranger. Nous ne connaissons pas de régulateur photo-électrique capable de remplir les conditions de solidité, de constance qui nous paraissent indispensables dans ce cas; mais nous pensons que, si le problème est possible à résoudre, ce n'est qu'avec la lampe au mercure du docteur Way. Ici, en effet, nous n'avons plus de mécanisme délicat : un filet de mercure se transporte d'un godet dans un autre, les deux récipients sont en relation avec les pôles de la machine magnéto-électrique, et le filet de mercure s'écoule dans l'intérieur d'un vase en verre dans lequel on a fait le vide. Comment se produit donc la lumière? On peut considérer le jet mercuriel comme composé d'une infinité de gouttelettes; entre chacune se produit une étincelle, et la somme de ces étincelles consécutives illumine le filet tout entier, de sorte qu'une gerbe de feu d'une intensité considérable semble se transporter d'une extrémité à l'autre de l'appareil. Que chacun des godets ait une capacité suffisante, que l'orifice d'écoulement soit très-petit, la lumière durera un temps convenable; quand elle s'éteindra, on la ranimera en retournant l'appareil. Cette lumière est certainement différente de celle des charbons quant aux caractères photogéniques; mais, dans le cas actuel, qu'importe, puisque l'éclat lumineux est suffisant? Le mercure s'écoulant dans le vide, l'oxy-

dation est impossible, et, par suite, l'appareil ne saurait se détériorer.

Nous ne concluons pas cependant d'une façon absolue à l'adoption de cette lumière, encore trop nouvellement introduite en France pour qu'on puisse se former une opinion à son égard.

L'éclairage des vaisseaux par la lumière électrique amenait naturellement la pensée de substituer la lumière électrique aux lampes à triple mèche des phares ; elle présente dans ce cas les mêmes avantages, sans que les mêmes difficultés soient à craindre. Ici cependant rien ne s'oppose à l'emploi des régulateurs à charbons, et même leur usage est indispensable ; car, les appareils étant à poste fixe, la plus grande intensité de leur lumière, sa nature, la perfection des appareils rendent toute discussion impossible.

Malheureusement, lorsqu'on a étudié la question, on a reconnu qu'il est à peu près impossible d'obtenir une lumière présentant une constance absolue, ce qui est cependant indispensable. Le but d'un phare n'est pas seulement d'indiquer aux bâtiments qu'ils approchent de la côte, il est aussi de leur faire reconnaître l'endroit où ils se trouvent.

De là les phares tournants, dont les *éclipses* sont d'une certaine durée ; de là encore des lumières de couleurs différentes ; il est nécessaire, pour que ces effets se produisent, qu'on puisse compter sur la constance du feu, c'est ce que donnent les lampes Carcel, et ce que ne donne pas, jusqu'à présent, avec autant de sécurité, la lumière électrique.

Nous ferons encore une remarque qui n'est pas sans importance : on sait que les rayons de différentes couleurs ne sont pas absorbés également par l'atmosphère qu'ils traversent ; ils le sont d'autant plus qu'ils sont plus réfrangibles ; on a une preuve de ce fait par la teinte rouge que prend le ciel à l'heure du soleil couchant : les rayons réfrangibles verts, bleus, violets, sont absorbés à ce moment avec une plus grande intensité que les rayons jaunes, rouges : il suit de là qu'un faisceau lumineux qui contiendrait plus de rayons sûrement réfrangibles, comme la lumière électrique, qui est très-riche en rayons verts, bleus, violets, serait bien plus vite absorbé par l'atmosphère qu'un faisceau contenant surtout des rayons jaunes, rouges, orangés ; de sorte que la lumière émise par les lampes

des phares bien que d'une intensité moindre, porte plus loin que celle que rayonnerait un phare électrique : il serait enfin indispensable, si l'on adopte définitivement la lumière électrique pour le service des phares maritimes, de construire des appareils ne formant qu'un seul foyer, et non trois ou quatre comme l'exige l'emploi des lampes à huile et à quadruple mèche.

On comprend donc qu'il ne faut pas trop se presser de conclure à l'application de la lumière électrique aux phares ; nous sommes loin cependant de combattre cette idée, mais nous voulons faire comprendre de quelles difficultés est environnée cette question que l'on s'était peut-être trop pressé de regarder comme résolue.

Malgré nos critiques, nous sommes grand partisan de la lumière électrique, et nous croyons prendre ses véritables intérêts en combattant des applications qui ne lui conviennent nullement ; l'engouement ne vaut rien, pas plus en électricité qu'en autre chose.

Nous savons déjà maîtriser cet agent mystérieux, si souvent terrible ; nous savons l'engendrer, le conduire; nous utilisons sa vitesse énorme pour transmettre nos idées, nos volontés dans toutes les parties du monde en un temps infiniment court ; les chimistes lui doivent quelques-unes de leurs plus belles découvertes ; il nous reste aujourd'hui à tirer parti de l'éclat énorme de la lumière engendrée par le fluide électrique. On aurait pu croire que c'était un rêve que vouloir remplacer le soleil ; nous avons trouvé cependant une source lumineuse qui lui est comparable, et par son éclat, et par ses propriétés physiques, et par ses propriétés chimiques, et il ne nous reste plus qu'à chercher quels sont les usages auxquels elle se peut le mieux appliquer.

Ernest Saint-Edme.

CHIMIE APPLIQUÉE

I

TRAVAUX DE M. MÈGE-MOURIÈS SUR LA PANIFICATION

Le froment paraît avoir été toujours la base de l'alimentation des habitants de la Gaule : comme la Velléda du poëte, les druides portaient une faucille d'or, et le fléau fut toujours la première arme de nos paysans. Aujourd'hui encore, si le sculpteur veut faire sortir du marbre une figure emblème de l'abondance, il modèle de son ciseau une femme robuste qu'il couronne des épis barbus du froment.

Si fertile que soit notre terre de France, les conditions climatériques n'y sont pas toujours cependant favorables à la culture des céréales ; des pluies inopportunes, des sécheresses prolongées, détruisent parfois les récoltes. La disette entraîne toujours des souffrances à sa suite ; mais, si grandes qu'elles soient encore aujourd'hui, elles n'ont rien de comparable aux famines épouvantables qui désolèrent autrefois notre pays.

Aux époques des guerres de religion, sous Henri III, le prix moyen de l'hectolitre de froment monta jusqu'à 61 fr. 25 ; en 1591, sous Henri IV, il atteignit 52 fr. 83 ; quelques années plus tard, cette mesure était encore à 42 fr. ; pendant le règne de Louis XIV, les prix varièrent de 8 fr. 82 en 1688, jusqu'à 43 fr. 05 et 44 fr. 05 en 1694 et en 1709.

Pendant ces années de cherté excessive, pendant les hivers surtout, les populations mouraient littéralement de faim ; elles désertaient les campagnes pour venir tristement mendier dans les villes, jusqu'à la porte du château de Versailles, où le grand roi man-

geait du pain bis. Les administrateurs ne savaient que faire de ces foules affamées ; on se rappelle ce mot navrant et terrible : « Retournez dans vos villages, braves gens ; ici je ne puis vous nourrir, là-bas l'herbe commence à pousser. »

Pendant la triste année 1812, le froment valait 36 fr. On raconte que l'Empereur, retenu par la nécessité d'assurer l'alimentation de Paris, ne quitta la France qu'au mois de mai pour aller rejoindre son armée campée en Allemagne. Fatal retard, à coup sûr, et qui coûta la vie à des milliers d'hommes qui ensevelirent avec eux, sous les neiges de la Russie, le gouvernement impérial. Exemple mémorable et fréquent de ce que peuvent sur la destinée des empires la disette et la famine qui la suit.

Grâce aux perfectionnements admirables des voies de communication, grâce aux sages mesures qui ont fait tomber successivement les barrières qui séparaient les différentes provinces de France et qui isolaient naguère encore notre pays du reste du globe, le retour de ces affreuses calamités n'est plus possible ; nous ne mourrons plus de faim, cela est constant, car il est sans exemple que la disette sévisse sur le monde entier ; guidés par l'intérêt, les pays favorisés enverront toujours, à charge de revanche, leur excédant de produits aux contrées où la récolte a manqué.

S'il est certain que l'alimentation de notre pays, couvert de chemins de fer, de routes et de canaux, est assurée, il n'est pas moins vrai que les documents statistiques publiés par nos gouvernements depuis une quarantaine d'années démontrent que la France ne produit pas assez de céréales pour se nourrir, et qu'elle est fréquemment obligée de demander à l'étranger de quoi combler le déficit.

Les quantités de blé qu'elle exporte dans les années d'abondance sont loin de compenser celles qu'elle achète pendant les périodes de disette ; cela ressort nettement d'un mémoire fort curieux sur l'alternance assez régulière des périodes de disette et d'abondance en France, publié, il y a déjà quelque temps, par M. le comte A. Hugo.

De 1816 à 1821, les récoltes ayant été insuffisantes, la France a dû acheter à l'étranger 6,247,178 hectolitres de froment au prix de 164,029,849 francs. L'abondance a succédé de 1822 à 1827.

Pendant cette période, les exportations ont dominé ; nous avons

fait sortir du pays 1,248,601 hectolitres de froment, qu'on nous a payé 19,525,528 francs. La disette est revenue de 1828 à 1832. Nous avons alors importé 9,527,466 hectolitres, et nous avons dépensé 211,593,670 fr. — De 1833 à 1837, nous avons exporté 944,130 hectolitres, au prix de 14,974,187 fr. — De 1838 à 1842, il y a eu abondance et disette, mais cette période s'est soldée en définitive par des achats de froment à l'étranger pour 28,874,000 fr. — L'année 1846, de triste mémoire, est comprise dans une période de disette qui a nécessité l'importation de 18,698,132 hectolitres, au prix de 515,561,232 fr. ; et l'abondance qui a suivi n'a produit en cinq ans qu'un bénéfice de 220 millions environ.

On voit, d'après ces chiffres, qu'en définitive la France fait en achat de grain à l'étranger des dépenses importantes, qu'elle est par conséquent obligée, à des époques assez rapprochées, de détourner du capital qui alimente son industries des sommes considérables pour assurer la vie de ses populations. Cette année même nous entrons dans une période de disette, qu'on ne pourra combattre que par des importations très-coûteuses ; rien ne mérite donc un examen plus approfondi que cette question des céréales, et il importe de rechercher d'où vient le déficit que nous signalons si fréquemment et comment on y peut remédier.

Deux moyens se présentent : ou produire davantage, ou mieux employer ce que nous produisons aujourd'hui.

A coup sûr la France pourrait tirer de son sol infiniment plus de substances alimentaires qu'elle n'a fait jusqu'à présent, et son agriculture est à peine au début de la voie nouvelle dans laquelle elle semble entrer résolûment.

Parmi les causes qui retardent ces progrès et qu'il faut s'attendre à voir disparaître le plus lentement, se place en première ligne la faiblesse du capital dont dispose notre agriculture ; cette insuffisance l'a fatalement entraînée dans des voies fâcheuses. C'est seulement, en effet, quand le cultivateur est riche, qu'il peut produire à bon marché. — C'est seulement quand l'industriel agricole peut enfouir dans sa terre, la première de ces machines, un capital suffisant d'exploitation, que celle-ci lui rendra ses avances avec de larges bénéfices. — De même que la grande industrie fabrique à meilleur compte que la petite, qu'une importante filature livrera ses produits à plus bas prix qu'un ouvrier travaillant isolément,

de même aussi la culture *intensive*, qui concentre ses forces sur un petit nombre d'hectares qu'elle cultive très-bien, auxquels elle fait rendre le maximum, produit à meilleur marché que la culture pauvre, besoigneuse, toujours tentée d'agrandir les soles destinées aux céréales, dont la réalisation immédiate en argent lui est utile.

Pour qu'un hectare puisse rapporter dans une année ordinaire 30 hectolitres de froment, il faut employer à sa culture un capital de 800 fr. environ. Le total des dépenses de la production et de l'intérêt du capital engagé arrive alors à 530 fr., et cependant le prix de revient de l'hectolitre est seulement 13 fr. 66 : si, au contraire, le capital engagé est moindre, comme il l'était, par exemple, à cette célèbre ferme de Roville, où Mathieu de Dombasle a prodigué ses enseignements, le prix de revient monte à 17 fr. 05 par hectolitre, malgré tout le talent, le zèle, l'habileté du chef des cultures [1].

Nous ne pouvons pas aujourd'hui discuter cette question avec tous les développements qu'elle mérite; peu à peu, nous l'espérons, le capital agricole augmentera, et les pays pauvres entreront dans la voie de la culture intensive, qu'ils n'ont pu aborder jusqu'ici; il ne faut pas se le dissimuler cependant, cette transformation d'une si énorme fraction du travail national ne s'exécutera que lentement; et, tout en y poussant par toutes les voies imaginables, il est bon, il est sage de chercher si nous utilisons le mieux possible la quantité de céréales que nous produisons actuellement; si la fabrication du pain, opération essentiellement chimique, n'est pas susceptible de recevoir quelques perfectionnements; si, en un mot, avec une quantité donnée de froment, il n'est pas possible de faire à meilleur marché une plus grande quantité de pain plus nutritif.

Chacun sait que le meunier doit non-seulement pulvériser le blé, mais encore partager en plusieurs catégories la poudre qui résulte du passage des grains sous les meules.

Cette poudre est entraînée successivement, à l'aide d'appareils spéciaux, sur des tamis dont les mailles sont de plus en plus larges;

[1] Voir, sur ce sujet, un très-bon écrit de M. E. Lecouteux, *la Question du blé et le Gouvernement*. Dentu, 1859.

au travers des plus étroites peut s'échapper seulement la farine blanche ne renfermant que des traces de son, tandis qu'entre les mailles plus grosses passent les parties du blé plus dures, moins faciles à pulvériser, formées surtout par le son et par les parties de farine qui l'avoisinent; enfin le son proprement dit, ne passant pas au travers des mailles, est rejeté sous le nom d'issues. Telle est, réduite à sa plus simple expression, l'opération connue sous le nom de blutage.

On appelle farine de première qualité celle qui a été ainsi séparée par un premier blutage, et on donne le nom de gruau à cette farine plus grossière, mêlée de son, qui n'a traversé que des mailles plus larges. — Ces gruaux repassent sous les meules, ils sont pulvérisés de nouveau; on en extrait d'abord une farine aussi blanche que la première; ensuite, des farines renfermant du son, et qui portent le nom de farines bises. L'expérience paraît avoir démontré que la farine blanche extraite du gruau donne des pains plus nutritifs, plus agréables que ceux qui ont été fabriqués avec la farine blanche proprement dite; de là, la réputation des pains dits de gruau. — En général, la mouture de 100 kilogrammes de blé nettoyé donne une moyenne de 70 à 74 kilogrammes de farine de première qualité, et de 28 à 24 d'issues, qui renferment encore une quantité notable de farine; enfin, il y a 2 de perte pendant l'opération.

C'est seulement avec la farine de première qualité qu'on peut, d'après les méthodes employées actuellement, faire du pain blanc; les farines renfermant du son, même en petite quantité, ne donnent jamais que du pain bis, dont l'acidité, la couleur brune, le mauvais goût, l'état pâteux et hygrométrique, la compacité, font évidemment un aliment inférieur repoussé déjà par les populations urbaines, et que les classes rurales ne consomment que parce qu'elles n'en ont pas d'autre [1].

C'est à la présence du son dans les farines bises qu'on attribuait avec raison la production du pain bis, mais sans avoir pu, jusqu'à ces derniers temps, pénétrer la cause de l'influence qu'exerçait, pendant la panification, le son mêlé à la farine.

Pendant plusieurs années, un savant français, M. Mége-Mouriès,

[1] Les bureaux de bienfaisance de Paris ne distribuent aux pauvres que du pain blanc.

s'est efforcé de découvrir le mode d'action du son; à l'aide d'une analyse très-minutieuse des différentes enveloppes du grain de froment, il est parvenu à reconnaître quelle est la partie du son qui agit sur la farine pendant la panification; puis il a cherché à paralyser l'action de cette substance, et il y est arrivé de la façon la plus heureuse; de telle sorte que, sur 100 parties de blé, il peut employer 83 ou 84 parties à la fabrication du pain blanc, au lieu de 70 à 74 utilisées jusqu'alors.

On comprend l'importance économique de cette découverte. Aussi, bien que le public ait été entretenu déjà à diverses reprises des beaux travaux de M. Mége-Mouriès, nous n'avons pas hésité à reprendre le récit de ses expériences, que des communications datant, au reste, à peine d'une année, sont venues compléter.

Les études sur la fermentation que nous avons faites dans un précédent article[1] vont nous permettre de comprendre bien vite ce qui se passe dans la panification.

On sait que, pour avoir un pain agréable, léger, facile à digérer, il faut déterminer dans la farine un mouvement de fermentation; on y arrive soit à l'aide de la levûre de bière, soit en employant une farine dans laquelle la fermentation est déjà établie et qui prend alors le nom de levain.

En mélangeant le levain avec de la farine et de l'eau, de façon à en faire une pâte, puis en exposant le tout à une température de 20 ou 25°, on ne tarde pas à voir la masse se gonfler, par suite d'un dégagement d'acide carbonique; il est produit par la décomposition d'un des principes de la farine: de l'amidon, qui, sous l'influence du ferment, se transforme d'abord en dextrine, puis en glucose; par la fermentation alcoolique, celui-ci donne enfin, comme nous l'avons vu précédemment, de l'alcool et de l'acide carbonique. Nous ne discutons plus aujourd'hui si ce sont des ferments spéciaux sécrétés par la levûre de bière qui déterminent cette série de transformations; le fait seul nous intéresse. Il se produit donc dans la farine blanche une fermentation alcoolique; l'alcool vaporisé, l'acide carbonique produit, gonflent la pâte et lui donnent la légèreté, la facilité d'assimilation qu'on recherche dans le pain.

Si le son est mêlé à la pâte et qu'on agisse de la même façon,

[1] Voir les *Fermentations*, page 105.

on n'obtient plus les mêmes résultats : sur cette fermentation alcoolique, s'en greffe une seconde; la farine noircit, le *gluten*, celui des éléments de la farine qui donne à la pâte sa plasticité, et qui, au lieu d'être une matière ternaire comme l'amidon, présente quatre corps simples dans sa constitution : charbon, oxygène, hydrogène et azote; le gluten, disons-nous, se liquéfie, s'altère; mise au four, la pâte se transforme de plus en plus, une trop grande portion d'amidon se change en glucose, le pain devient alors pâteux et hygrométrique, la destruction du gluten lui enlève sa plasticité, le pain ne peut plus se gonfler dans l'eau ou dans le bouillon; les gaz et les vapeurs qui soulèvent la pâte brisent ses cellules au lieu de les élargir; enfin on a du pain bis au lieu de pain blanc.

Comme il suffit d'une faible quantité de farines bises dans la pâte pour changer entièrement la nature et la qualité du pain, on a été obligé, ainsi que nous l'avons vu, de proscrire absolument le son des farines blanches; de là, un déchet considérable, et l'emploi à la fabrication du pain blanc des 7/10 du poids du blé, tandis que 15 du poids total ne donnent que du pain bis.

De là aussi des falsifications dans les farines; l'emploi d'une petite quantité de sulfate de cuivre, vénéneux comme tous les sels de ce métal, l'usage d'alun, moins dangereux, mais qu'il faut prohiber cependant, substances qui ont toutes la propriété de paralyser cette seconde fermentation productrice du pain bis.

En 1853, puis en 1856, M. Mége-Mouriès communiqua à l'Académie ses premières observations sur la panification; il en résultait que le son renfermait dans ses tissus un principe spécial, susceptible d'être isolé, et qui paraissait être le ferment spécifique produisant le pain bis, c'est-à-dire déterminant la transformation de l'amidon de la farine, non-seulement en glucose, mais aussi en acide *lactique*[1]; ce ferment fut nommé par l'auteur *céréaline*. Ainsi, tandis que la farine blanche mise avec la levûre de bière produit seulement à l'aide de son amidon de l'alcool et de l'acide carbonique, la farine mêlée de son s'altère sous l'influence de la

[1] Cet acide existe dans le lait aigre. — Nous avons vu dans un article précédent (page 105) que pour M. Pasteur la fermentation lactique est toujours due à un végétal qu'il nomme ferment lactique. Nous avons conservé l'hypothèse de M. Mége-Mouriès, pour ne pas entrer dans une discussion étrangère au sujet même que nous traitons.

céréaline que renferme celui-ci, la fermentation acide prédomine sur la fermentation alcoolique, le gluten s'altère jusqu'à produire des sels ammoniacaux et ces matières noires que donnent toutes les matières organiques traitées par des acides énergiques, il perd son élasticité; en un mot, ce qui distingue le pain blanc du pain bis, au point de vue de la fabrication, c'est que dans la fabrication du premier une seule fermentation, la fermentation alcoolique, prend naissance, tandis que dans le second il se produit aussi une fermentation lactique qui attaque plus profondément les principes de la farine et arrive jusqu'à en désorganiser complétement une portion.

Dans les premiers procédés qu'il avait proposés, M. Mége-Mouriès s'efforçait de diriger les opérations de telle sorte, que la fermentation alcoolique pût beaucoup prédominer sur la fermentation acide; il y arrivait de la façon suivante : le gruau de blé moulu était divisé par un seul blutage en trois parties :

75 environ de farine blanche,
15 de gruaux bis,
10 de sons divers;

il délayait dans l'eau ces gruaux, puis y ajoutait de la levûre de bière et du glucose; c'est-à-dire que la fermentation alcoolique se trouvait dans des conditions excellentes à son développement; le glucose fermentait; il est très-probable qu'en même temps la céréaline, matière azotée très-altérable, était décomposée par cette fermentation même, pour servir de nourriture aux globules de levûre de bière; ce qu'il y a de certain, c'est qu'elle était détruite, et que la farine contenue dans les gruaux pouvait être mélangée à la farine blanche, qu'elle y déterminait la fermentation alcoolique avec une grande vigueur sans qu'il se produisît d'acide lactique, sans, par conséquent, que le pain fût bis.

Sous les yeux d'une commission nommée par l'Académie des sciences, et dont M. Chevreul fut le rapporteur, on fit, à la boulangerie des hospices de Paris, à Scipion, en 1856, un certain nombre d'essais comparatifs des procédés de panification anciens et nouveaux, et, tandis que par l'ancien procédé 100 de blé ne donnaient, en moyenne, que 113 kilogrammes de pâte et de 90 à 93 de pain, le nouveau donnait 131 de pâte et 110 de pain environ.

M. Mége-Mouriès avait acquis dès cette époque, dans la rue Descartes, une boulangerie où il appliquait les nouveaux procédés ; le pain qu'il livrait au public ne fut l'objet d'aucune critique tant qu'on le maintint au prix ordinaire ; mais, l'auteur ayant annoncé qu'il le fabriquait par un procédé économique, et qu'il le pouvait livrer à 3 centimes par kilog. meilleur marché que le pain ordinaire, on le trouva aussitôt de moins bonne qualité que celui-ci.

Une sous-commission nommée par M. le ministre de l'agriculture, qui avait pour président M. Payen, de l'Académie des sciences, et pour rapporteur M. le colonel Favé, aide de camp de l'Empereur, suivait dès lors ces essais ; de septembre à décembre 1857 elle constata de grands progrès dans la fabrication, bien que les critiques élevées contre le nouveau pain ne lui semblassent pas complétement dénuées de fondement.

Aussi, malgré l'économie qu'il procurait, le nouveau procédé eut quelque peine à s'établir ; ce n'est pas, au reste, une tentative facile à conduire à bonne fin que de s'efforcer de changer les habitudes prises par les ouvriers et transmises depuis des siècles dans chaque corps d'état ; M. Mége-Mouriès rencontra donc de sérieuses difficultés et modifia ses procédés pour les rapprocher de ceux qu'on emploie habituellement, et en même temps pour produire un pain contre lequel il ne fût plus possible d'élever de critiques sérieuses.

Au lieu de détruire la céréaline par la fermentation alcoolique, ce savant proposa, en 1858, de retarder l'action de ce ferment d'abord en le précipitant à l'aide de sel marin, ajouté à l'eau destinée à faire la pâte ; addition qui communique au pain une saveur salée agréable, puis en mélangeant à la farine blanche d'abord employée les portions de farine renfermant le ferment lactique une heure seulement avant d'enfourner.

Les opérations sont alors conduites de la façon suivante, un seul blutage sépare la farine en quatre parties :

Fleur de farine.	40	86
Gruaux blancs, mêlés de farine et de quelques parties de son.	38	
Gruaux mêlés d'une plus grande quantité de son ou rougeurs.	8	
Sons divers non employés, perte.		14

Ces 86 parties de farine et de gruaux vont pouvoir entrer dans la fabrication du pain en opérant comme suit :

On fait d'abord les levains avec les 40 parties de fleur de farine et 20 parties d'eau; cette opération se pratiquera suivant le mode de chaque pays, elle est laissée à l'habileté de chacun, habileté qui, au reste, a besoin d'être beaucoup moins grande que par le passé, puisque la farine qui y est employée est très-pure, très-exempte de son, et qu'il n'y a, par conséquent, aucune chance pour qu'il se produise de fermentation lactique. On délaye alors les 8 parties de rougeurs dans 45 parties d'eau chargée de sel marin, la céréaline est en partie précipitée, elle passe cependant avec la farine suspendue dans l'eau, à travers un tamis dont les mailles serrées retiennent complétement le son que renfermait cette portion des gruaux; on délaye alors le levain avec cette eau chargée de farine de première qualité, on fait la pâte en introduisant les 38 parties de gruaux blancs; la pâte est divisée, et, après une heure, elle est mise au four; ce temps ne suffit pas, à la température ordinaire, pour développer le ferment céréalique, et on obtient du pain blanc; mais, si la température était plus élevée, ou si l'on prolongeait le contact, on aurait du pain coloré, et ce pain serait d'autant plus bis que le retard aurait été plus long. Par ce moyen, 100 kilogrammes de blé donnent 136 kilogrammes de pâte, et 115 kilogrammes de pain.

Le caractère du procédé nouveau est donc très-facile à saisir : employer pour déterminer la fermentation la partie de la farine exempte de son, pour n'avoir que la fermentation alcoolique, puis mélanger brusquement, quand cette fermentation est en activité, les portions de farine mêlées de son, et faire cuire presque aussitôt, de façon à ne pas laisser à la fermentation lactique le temps de se produire.

Le procédé imaginé par M. Mége-Mouriès est remarquable non-seulement en ce qu'il produit avec une quantité de blé déterminée une plus grande quantité de pain blanc que la méthode généralement employée, mais aussi en ce qu'il semble d'une exécution plus facile et moins entièrement livrée à l'habileté de l'ouvrier.

On sait, en effet, que la panification actuelle est excessivement pénible, qu'elle exige des manipulations très-nombreuses, exécutées par des ouvriers d'une propreté pour le moins problématique.

Cette opération exige un temps assez long, elle commence à huit

heures du soir, avec un morceau de pâte composé de 8 kilogrammes de farine et de 4 kilogrammes d'eau, qu'on abandonne à elle-même jusqu'à six heures du matin pour qu'elle ait le temps de fermenter; cette première masse constitue le *levain de chef;* de nouvelles portions de pâte incorporée dans cette masse pendant la journée donnent successivement le *levain de première, de seconde* et *de tous points*, puis enfin la masse destinée à la cuisson. Celle-ci se fait elle-même à différents moments, en ajoutant chaque fois à la pâte non comprise dans la première fournée une nouvelle quantité de farine; la première fournée, qui renferme la pâte la plus fermentée, donne un pain déjà un peu bis; et la qualité du pain va en croissant jusqu'à la dernière, qui donne les pains de luxe.

Bien que le procédé proposé par M. Mége-Mouriès soit infiniment plus commode, plus facile à mettre en œuvre que l'ancien, il a rencontré cependant de si grandes difficultés pour passer dans la pratique, qu'il a dû se compliquer pour se rapprocher beaucoup du procédé universellement employé que nous venons de décrire rapidement.

Les boulangers ne pouvaient, en effet, se procurer que difficilement cette fleur de farine à 40 p. 100 que veut employer l'auteur; les appareils de blutage ne la fabriquent pas habituellement, et il a fallu en revenir à la farine à 70 p. 100 qu'on prépare plus facilement; en simplifiant, comme on l'a fait récemment, le tamisage humide des gruaux bis, on est arrivé enfin, en suivant presque la méthode habituelle, mais en n'introduisant dans la pâte que très-peu de temps avant d'enfourner les farines bises, à faire un pain parfaitement blanc, sans changer complétement, ainsi qu'on l'avait tenté d'abord, les habitudes de la fabrication.

M. Mége-Mouriès, toutefois, n'en est pas resté là; non-seulement il croit que son procédé donne plus facilement plus de pain blanc que l'ancien, mais il a encore démontré que le pain qu'il prépare est plus salubre que celui que nous employons journellement.

En 1859 et en 1860, ce savant revint en effet à l'étude de certaines membranes du grain de blé. Son Mémoire de 1860 renferme un dessin très-soigné de la *coupe* d'un grain de froment; on y voit, se superposant au-dessus de la masse centrale, essentiellement farineuse et donnant par la pulvérisation la fleur de farine, les couches de membranes très-fines, plus denses, qui, résistant éner-

giquement à l'action des meules, donnent les gruaux ; ce sont les portions les plus nutritives.

L'action du tissu d'une de ces nombreuses membranes, dépouillée de la céréaline qu'elle renferme, est des plus énergiques. Cette membrane, par son contact [1], paraît-il, décompose l'amidon, et liquéfie le gluten ; à une basse température, son action est nulle ; de 35 à 40°, elle est très-vive ; aussi la pâte composée avec une farine qui la renferme perd-elle rapidement sa consistance, si l'on emploie à sa fabrication de l'eau trop chaude ; à 100°, elle conserve, comme la levûre, assez d'activité pour transformer l'amidon, en quoi elle diffère de la diastase, qui n'agit plus à 90°, et de la céréaline, dont l'action cesse à 70°. Ce fait explique comment M. Mége-Mouriès a pu observer souvent que les décompositions commencées dans la pâte continuent pendant la cuisson, au point que la même pâte donne des pains tout à fait différents, suivant que ces pains sont plus ou moins petits et plus ou moins rapidement cuits [2].

Il semblerait, d'après cela, au premier abord, qu'il faudrait s'efforcer, dans la mouture, d'éliminer cette membrane, dont l'action est si puissante et peut nuire au succès de la panification. M. Mége-Mouriès est loin cependant d'être de cet avis ; pour lui, cette membrane introduite dans le pain le rend infiniment plus facile à digérer que le pain blanc, en même temps qu'elle lui donne des qualités nutritives plus grandes.

On a bien abusé des points d'exclamation au sujet des merveilles

[1] On réserve complétement l'explication du phénomène.

[2] Comme l'explication de l'action du son sur la farine est très-obscure, nous demanderons la permission de citer l'expérience démonstrative suivante due à M. Mège-Mouriès.

On se procure trois vases, renfermant tous les trois de la farine blanche délayée dans l'eau ; on prend ensuite du son, on le soumet à un lavage prolongé de façon à en extraire la céréaline ; cette eau de lavage, placée dans l'un des vases, y détermine la fermentation lactique.

On lave encore le son, et on ajoute cette seconde eau à la farine du second vase ; si le premier lavage a été bien fait, cette portion de farine reste inaltérée. On a ainsi la preuve que le son ne renferme plus de céréaline.

Qu'on place enfin dans le troisième vase le son complétement débarrassé de principes solubles dans l'eau, et la farine s'altérera rapidement. Ainsi le contact du son, ou plutôt l'action d'une substance qu'il renferme et qui est différente de la céréaline, paraît, dans ce cas, déterminer la fermentation.

de la nature, et l'admiration est devenue tellement banale, qu'on a quelque honte à s'y livrer.

Il faut bien cependant que le lecteur nous permette d'appuyer sur cette structure merveilleuse du grain de blé, prédestiné pour ainsi dire à la nourriture de l'homme.

Il renferme d'abord une matière ternaire, l'amidon, riche en charbon et en hydrogène, qui, liquéfiée, passant dans le sang, pourra être brûlée au contact de l'oxygène introduit par les poumons dans toute la circulation.

Il renferme encore ce froment, le gluten, principe quaternaire, formé de fibrine, d'albumine, et de ces matières identiques avec notre chair, avec nos muscles, que leur composition même démontrent être très-nutritives.

Mais, pour que tous ces produits se digèrent, puissent circuler dans l'économie, il faut les liquéfier ; la nature y pourvoit : la céréaline produit de l'acide lactique, c'est-à-dire précisément l'acide que renferme le suc gastrique. Cette action ne suffit-elle pas, voici les pellicules du son qui agissent à leur tour pour continuer cette action, et liquéfier complétement toute la masse ingérée par une action aussi énergique que mystérieuse.

Les procédés précédemment décrits sont mis en usage à la boulangerie de la rue Descartes, à Paris. Cet établissement fournit du pain que chacun a pu goûter l'année dernière à l'exposition des Champs-Élysées, et qui paraît d'excellente qualité au premier abord, mais dont le goût un peu décidé lasse cependant assez vite C'est ainsi que, parmi les établissements qui l'ont consommé d'abord avec plaisir, plusieurs, notamment l'École polytechnique, ont tout récemment renoncé à son emploi.

Si on fait abstraction de cette faible saveur qui nuit à l'établissement des nouveaux procédés, il est certain qu'en les employant, dit M. Mége-Mouriès, « on obtient du pain plus nutritif, et la proportion de ce pain est plus forte de 3 à 4 pour 100, parce qu'on évite la décomposition d'une partie de la farine en acide lactique, en produits ammoniacaux », etc.

On peut dire aussi que toutes les farines bises et les demi-premières issues deviennent farine de première qualité, ce qui augmentent de 16 pour 100 la quantité de farine de première qualité, et de 8 pour 100 la quantité de farine panifiable.

On bénéficie donc de 8 à 9 pour 100, et ce bénéfice est immense, puisqu'on peut le supposer multiplié par la masse de farine que consomme la France.

Cette consommation est de 80 millions de quintaux de farine, au prix de 40 fr. les 100 kilos ; l'économie faite par le nouveau procédé serait de 200 millions de francs ; c'est-à-dire plus que la France n'achète à l'étranger pendant les mauvaises années ordinaires. Pendant l'année 1847, qui est celle où depuis longtemps, les importations ont atteint le chiffre le plus élevé, on a importé plus de 10 millions d'hectolitres, qui ont coûté près de 290 millions ; ainsi, les deux tiers de cette énorme dépense auraient pu être évités, si l'on eût connu et mis en pratique, à cette époque, les procédés de panification proposés par M. Mége-Mouriès.

Il est probable, au reste, qu'il faudra combattre pendant longtemps avant d'arriver à les faire adopter ; il faudra lutter contre les habitudes prises par les meuniers, par les maîtres et les ouvriers boulangers.

« Or[1], dit M. le colonel Favé, dans le rapport dont nous avons déjà parlé, en dehors de tout esprit de parti et d'opposition systématique, des motifs très-légitimes d'intérêt personnel peuvent éloigner la meunerie et la boulangerie de l'adoption des nouveaux procédés.

« Depuis vingt-cinq ou trente ans, l'industrie meunière a fait de grands efforts pour obtenir du blé la plus grande proportion de farine blanche.

« Le système Mége-Mouriès, en donnant les moyens d'employer les farines inférieures à la confection du pain blanc, enlève aux procédés perfectionnés de la meunerie une partie de leur intérêt et fait perdre à ces industriels le fruit des sacrifices qu'ils ont faits pour réaliser ces progrès.

« Une industrie ne saurait renoncer ainsi volontairement aux bénéfices d'une situation chèrement acquise, sans y être excitée par la perspective d'une large compensation, et les procédés Mége-Mouriès n'offrent pour avantage, au point de vue de la meunerie, qu'une assez faible économie résultant des simplifications apportées dans le travail.

« D'un autre côté, l'organisation actuelle de la boulangerie rend

[1] *Moniteur* du 23 décembre 1850.

les industriels qui exercent cette profession très-peu intéressés et souvent contraires à un changement quelconque dans leur fabrication; car, s'ils parvenaient, à l'aide de nouveaux procédés, à diminuer leurs dépenses, ils seraient exposés à voir réduire d'autant l'allocation réglementaire qui leur est attribuée par la taxe. Ils n'ont donc aucun profit à espérer de perfectionnements qui ont toujours l'inconvénient pour eux de leur faire perdre en partie les avantages de l'expérience que leur a donnée la pratique de leur profession difficile. »

Mais le temps finit toujours par avoir justice de toutes les préventions et par amener le triomphe de toutes les inventions réellement utiles, et nous ne doutons pas que le procédé de panification de M. Mége-Mouriès, encore perfectionné, jusqu'à donner un pain complétement identique comme saveur au pain ordinaire, ne soit un jour universellement adopté.

Si nous revenons de la pratique à la science pure, nous reconnaîtrons que, malgré tout le talent qu'il a apporté à ces recherches éminemment délicates et difficiles des fonctions diverses que possèdent les membranes du grain de blé, M. Mége-Mouriès a encore laissé bien des questions obscures et qu'on ne voit pas clairement : par exemple, en quoi consiste l'action de cette membrane, dont le contact liquéfie le gluten à 40°? Là, évidemment, le tout est pris pour la partie, et on n'a pas encore pu isoler la substance chimique douée de cette activité spéciale.

On ne voit pas mieux comment, dans le premier procédé proposé par l'auteur, la fermentation alcoolique détruit la *céréaline*, la neutralise, suivant l'expression qu'adopte M. Mége-Mouriès ; au point de vue scientifique pur, toutes ces questions ne sont qu'incomplétement traitées.

Nous ne nous arrêtons pas à ces critiques ; M. Mége-Mouriès a fait plus qu'un travail scientifique, sa découverte s'élève à un service rendu à l'humanité tout entière. Qui ne se sentirait attendri à l'idée de donner à toutes nos braves populations à plus bas prix, du beau pain blanc de froment, au lieu de ces pâtes noires, visqueuses, à moitié moisies, qui forment leur nourriture habituelle?

Qui ne penserait que l'homme qui indique les moyens d'arriver à ce résultat n'a pas bien mérité de la patrie? Tout le monde est donc d'accord pour louer le désintéressement de M. Mége-Mouriès,

qui a consacré dix années de sa vie à ces travaux, indépendamment de toute idée de spéculation personnelle; et tout le monde aussi a battu des mains quand, il y a quelques mois, S. M. l'Empereur a donné à M. Mége-Mouriès la croix de la Légion d'honneur.

Il est bien probable que lorsque le vieux Caton répétait au sénat de Rome son *Delenda est Carthago*, on devait, tout en appréciant sa persévérance, trouver que ce refrain manquait de variété; on en dira certainement autant d'une vérité sur laquelle nous revenons avec une ponctualité aussi louable que fatigante.

La raison en est que nous avons à lutter contre une opinion trop généralement répandue, qu'on jette à tout propos à la tête des savants. — Sur cent personnes à qui on parle d'une découverte scientifique, quatre-vingt-dix-neuf interrompent pour répéter leur éternel : A quoi cela sert-il? Il faut constamment répondre comme les Italiens : Qui le sait? Nous en avons ici un exemple manifeste, et on nous excusera de nous y arrêter; voici un travail chimique, susceptible de faire tirer de la quantité de blé que nous produisons chaque année plus d'un mois d'excellente nourriture pour tous les habitants de la France, et de procurer, ainsi que nous l'avons vu, une économie annuelle de 200 millions, c'est-à-dire du dixième de notre budget; on ne dira pas que ce travail n'est pas utile; eh bien, d'où dérive-t-il? comment est-il devenu possible?... C'est évidemment parce que la science chimique pure a progressé, parce que notamment on a accumulé, ainsi que nous l'avons vu dans un article précédent, une foule de travaux sur les fermentations, qu'on a vu que plusieurs d'entre elles pouvaient se superposer, qu'à chacune d'elles paraissaient correspondre des ferments spéciaux, dont l'action était plus ou moins rapide, et que toutes ces connaissances ont aidé, éclairé, guidé M. Mége-Mouriès, qui, de son côté, les a considérablement étendues, tout en les appliquant à un des sujets qui peuvent le plus contribuer au bien-être de l'humanité.

Quand Lavoisier, Gay-Lussac, Thénard, Liebig, Cagniard de Latour, Turpin, Frémy et tant d'autres se sont occupés des fermentations alcoolique, butyrique, lactique, etc., qui savait ce qu'il sortirait de leurs études? personne, à coup sûr; et c'est cependant de ces travaux que dérivent les belles découvertes de M. Mége-Mouriès sur la panification, qui enlèvent cette opération à la routine pour la classer parmi les procédés chimiques réguliers.

Qu'on laisse donc aux savants le soin de diriger leurs études comme ils l'entendent; qu'on ne cherche point toujours et à tout propos à les jeter dans les applications; s'ils étudient la nature et s'efforcent d'en connaître les lois, ils ne seront pas embarrassés plus tard pour faire sortir de ces travaux les applications les plus propres à assurer le bien-être de tous, à augmenter la richesse matérielle de l'humanité, comme leurs découvertes dans le domaine de la science pure augmentent sa richesse intellectuelle.

P. P. Dehérain.

II

L'ACIER.

RECHERCHES DE M. SAUNDERSON, DE M. ED. FRÉMY ET DE M. H. CARON.

Quelle est la véritable nature de l'acier?... Son usage remontant aux temps les plus reculés, il semblerait que sa constitution dût être parfaitement connue, sa fabrication complétement réglée... Il n'en est rien cependant; cette importante industrie n'est aujourd'hui guidée que par des méthodes purement empiriques, et les discussions que nous allons résumer montrent assez que les chimistes ignorent encore quelle est la véritable nature de l'acier.

En quoi les travaux récents peuvent-ils éclairer cette question, dans quelle mesure peuvent-ils venir en aide à la fabrication? C'est ce que nous tâcherons d'indiquer, quand nous aurons rapidement rappelé les principes sur lesquels reposent les procédés métallurgiques employés pour convertir les minerais en acier, et que nous aurons brièvement indiqué les nouveaux emplois qu'a reçus cette précieuse matière première.

I

Description d'une forge. — Hauts fourneaux. — Fonte. — Mazéage, Puddlage. — Fer. — Laminoirs.

C'est à coup sûr un beau spectacle que celui d'une forge, en plein travail, la nuit ou mieux encore le soir, quand le soleil, presque horizontal, laisse traîner ses paisibles rayons d'or sous les halles déjà assombries, où les foyers commencent à briller d'un éclat d'autant plus vif que la nuit est plus proche.

Ici, nous trouvons sur le sol, disposés régulièrement, les moules en sable, prêts à recevoir la fonte du haut fourneau et à le convertir en *gueuses* demi-cylindriques. S'il est six heures, nous allons voir la coulée; depuis douze heures déjà se déverse un fleuve de laitier; incandescent d'abord et fluide, il devient visqueux et se déroule lentement en longs rubans vitrifiés. Le signal est donné, le tampon d'argile enlevé : la fonte s'élance bondissante, les étincelles jaillissent de tous côtés, ce ruisseau rouge de feu s'écoule, bien fluide, faisant crépiter de toutes parts les parois qui le guident et le retiennent; peu après les moules s'emplissent, bientôt la fonte commence à se figer et à noircir, et les ouvriers la couvrent de sable pour hâter son refroidissement.

Là les gueuses, qui viennent de se mouler en sortant du haut-fourneau, s'accumulent dans le feu de finerie; les machines soufflantes lancent constamment sur elles leur air oxydant, elles s'épurent, elles s'affinent; encore fusible toutefois, mais plus blanc, le métal s'écoule, ayant revêtu son état intermédiaire avant d'arriver au fer ductile, c'est le *fine metal*.

Plus loin, s'ouvre béante la porte du four à puddler, la flamme, qui y déroule ses anneaux, l'illumine; l'ouvrier attentif y suit les progrès de l'affinage du *fine métal*, le voit de liquide devenir pâteux, le fer *prend nature;* les morceaux, rapprochés les uns des autres, se soudent et forment bientôt une masse consistante qu'une pince peut enlever.

Suivons ce fragment de fer incandescent qui illumine tout sur son passage; le voici entre les terribles mâchoires de la presse à charnières, elles l'aplatissent; les scories coulent de toutes parts sous leur effort en petits filets de feu; cette grosse éponge incan-

descente, comprimée, se vide de liquide; on la retourne pendant que les mâchoires se soulèvent; elles reviennent, pressent de nouveau, dans un sens, dans l'autre, et le fragment agrégé, débarrassé des parties fluides, commence à se modeler en un prisme grossier; mais sa surface noircit, sa ductilité diminue : on l'enlève, on le réchauffe, et le feu bientôt lui rend sa souplesse.

Le métal est réchauffé, on l'engage alors entre les cylindres du laminoir; il entre avec peine; mais l'ouvrier, les bras nus, le tablier de cuir devant lui, bravant les étincelles, le présente résolûment entre les cylindres : ils l'ont saisi, le bloc passe en s'allongeant; l'aide l'a reçu de l'autre côté; il nous le renvoie par-dessus le laminoir, où l'ouvrier l'engage de nouveau entre les deux rouleaux déjà plus rapprochés.

Ils reprennent encore le prisme métallique, l'allongeant toujours, jusqu'à ce qu'il ait perdu sa ductilité par le refroidissement. On le réchauffera de nouveau, et toujours il va, passant entre les cylindres, et s'allongeant chaque fois. C'est maintenant un long ruban de feu qui se courbe comme un serpent, jusqu'à ce qu'il vienne s'allonger tout droit à côté de ses voisins et que quelques coups de maillet redressent ses courbures.

Le bruit ajoute à l'impression si vive que produit toujours une forge; les machines soufflantes gémissent et poussent leurs longs soupirs, le fer frappe le fer; au milieu de ces sons, si intenses qu'ils assourdissent d'abord, on distingue bientôt des modulations étranges, sur lesquelles la machine à vapeur siffle ses aigres variations.

Au milieu du feu travaillent les ouvriers, tout ruisselants de sueur; ils circulent entre les brasiers, sans se soucier des dards enflammés qu'ils lancent de toutes parts, passent au-dessus des barres rouges encore, faisant fumer leurs sabots sur le fer brûlant.

C'est une belle chose qu'une forge! On ne peut guère la regarder sans se sentir ému, comme on le serait devant un combat : le danger existe; les blessures peuvent être terribles; mais le mouvement est rapide, l'entraînement extrême, on n'y songe pas; c'est une lutte, mais une lutte féconde où le vaincu est le minerai. On le voit entrer dur, calleux, en petits grains irréguliers, et il ressort assoupli et dompté, en belle barre droite, flexible, nerveuse, transformé en fer, la plus précieuse des matières premières.

De l'admiration à la curiosité il n'y a pas loin ; on a vu la forge, on veut comprendre ce qui s'y fait, et pourquoi tant de fourneaux et tant de machines pour passer du minerai au métal[1].

Dans les hauts-fourneaux, dans ces grosses tours rondes ou prismatiques régulièrement placées à côté l'une de l'autre, d'où s'écoule la fonte, que met-on? Par l'ouverture supérieure, par le *gueulard*, on jette du minerai de fer, c'est-à-dire un mélange d'oxyde de fer et d'argile, car on n'a guère d'oxyde de fer pur. On y ajoute encore du charbon de bois ou du coke, et enfin du carbonate de chaux, de la craie, auxquels les ouvriers donnent le nom de *castine*.

On comprend bien d'abord que le charbon, porté à une température très-élevée par l'air que lancent constamment, par la partie inférieure, les machines soufflantes, puisse arriver à une haute température, et que l'oxyde de carbone qui se produit par la combinaison de l'oxygène de l'air et du charbon puisse réduire à l'état de fer l'oxyde du minerai ; qu'enfin ce fer, en s'unissant avec une certaine quantité de charbon et de silicium, constitue le produit fusible connu sous le nom de fonte ; mais on ne voit pas aussi bien l'utilité de la castine.

Nous avons dit que l'oxyde de fer que fondent les hauts-fourneaux était toujours mélangé à une certaine quantité d'argile; or cette matière est très-peu fusible quand elle est isolée. Tendant cependant à fondre sous l'effort du feu puissant qui l'étreint, cette argile cherche à former des combinaisons, s'efforce de trouver au milieu des matières qui l'entourent un principe capable de lui donner, par son union, la fusibilité qui lui manque. Si on jette seulement dans le haut-fourneau le minerai et le charbon, presque tout l'oxyde de fer du minerai se combinera avec l'argile et passera dans le laitier, cette masse vitreuse qui s'écoule constamment hors du fourneau, et la quantité de fonte produite sera très-faible ; mais il n'en sera plus ainsi si on ajoute au minerai une base capable de remplacer dans la constitution du laitier l'oxyde

[1] Nous n'avons pas ici, bien entendu, l'intention de donner une théorie complète de la métallurgie du fer ; nous en résumons seulement les principes. Les personnes qui voudraient trouver quelques détails très-clairs sur ce sujet consulteront avec fruit le troisième volume du *Cours de Chimie élémentaire* de M. V. Regnault, ouvrage classique où la partie métallurgique est parfaitement traitée.

de fer; cette base, qui laisse ainsi libre cet oxyde qui permet au charbon de le réduire, c'est la chaux de la castine.

Dans notre haut-fourneau, nous produirons donc, d'une part, un laitier formé de la combinaison de l'argile et de la chaux; ce sera cette masse incandescente, pâteuse, vitreuse, qui, comme nous venons de le dire, s'écoule sans cesse hors du haut-fourneau, et, de plus, de la fonte, qui, plus lourde, plus dense, tombera dans la partie inférieure du haut-fourneau, au fond du creuset, s'y accumulera, soulevant peu à peu devant elle le laitier, plus léger, jusqu'à ce qu'il atteigne son trou de coulée toujours béant, tandis qu'elle même, réunie, ne sortira qu'autant qu'on débouchera l'orifice percé plus bas, par lequel peut se vider le creuset qui la contient.

La fonte, très-dure mais cassante, fusible mais non malléable ni ductile, peut être employée toutes les fois qu'il s'agit d'avoir de la force sans flexibilité et sans choc. On sait l'usage très-heureux qu'on en fait actuellement dans les constructions.

D'après les idées admises jusqu'à ces derniers temps, la fonte est une combinaison de 95 de fer environ avec du charbon et du silicium en proportions suffisantes pour compléter 100.

Transformer la fonte en fer, c'était brûler ce charbon et ce silicium, les éliminer de façon à laisser le fer à l'état de pureté.

Cette combustion se fait en deux opérations ou en une seule, suivant la nature très-variable de la fonte à traiter.

En Angleterre, dans certaines parties de la France, on commence par amener la fonte à l'état liquide dans un petit four quadrangulaire, où pénètrent les tuyères d'une machine soufflante; le vent qui arrive sur la fonte rapidement fondue oxyde son silicium, la brûle elle-même en partie; l'oxyde de fer produit se combine à l'acide silicique formé, et ces deux matières nagent au-dessus de la fonte en partie affinée, qui prend alors le nom de *fine metal.*

Ce produit du *maséage* est porté dans un fourneau à réverbère, dans le four à *puddler*, où il est chauffé de nouveau jusqu'à fusion; sous l'influence de l'oxygène de l'air, il s'oxyde encore, le reste du charbon qui se trouvait dans la fonte passe à l'état d'acide carbonique, le silicium non encore éloigné pendant le maséage s'oxyde, la silice formée se combine avec de l'oxyde de fer et forme un silicate fusible; le fer, ainsi purifié, commence à *prendre nature*, suivant l'expression consacrée; sa fusibilité diminue, les morceaux spongieux, rapprochés par le ringard de l'ou-

vrier, se soudent l'un à l'autre, et peuvent enfin passer sous les mâchoires des presses à charnière ou être cinglés par les marteaux pilons : ce travail, qui a surtout pour but d'éliminer les scories encore enfermées au milieu de la masse métallique, améliore aussi considérablement la qualité du métal, qui devient plus souple, plus nerveux ; les lingots déjà grossièrement façonnés sont enfin martelés, corroyés, laminés, jusqu'à ce que le fer ait acquis toutes les qualités qui en font le premier des métaux.

II

Fabrication industrielle de l'acier.

L'acier a des propriétés qui lui font tenir le milieu entre la fonte et le fer ; s'il est fusible comme la première, bien qu'à un moindre degré, il est susceptible de se travailler au marteau comme le second, encore qu'il soit plus cassant et plus élastique.

Ce qui le distingue nettement, c'est la dureté et la fragilité qu'il acquiert par la *trempe*, c'est-à-dire lorsqu'on le refroidit brusquement après l'avoir porté au rouge.

L'acier peut être obtenu en affinant partiellement la fonte, ou bien en soumettant le fer à un traitement convenable.

Le mode de fabrication diffère naturellement, suivant la substance employée comme matière première. *L'acier de forge* ou *acier naturel* est obtenu avec des fontes grises que donnent les minerais traités au charbon de bois ; l'*acier de cémentation* est fabriqué en général avec de très-bons fers provenant de minerais très-purs et très-riches ; une grande partie des fers de Suède est transformée en Angleterre en aciers justement renommés.

La fabrication de l'acier à l'aide de la fonte est surtout en usage en Allemagne, et deux centres de production, situés, l'un en Prusse, sur la rive droite du Rhin, l'autre dans les provinces autrichiennes des Alpes, jouissent depuis une époque fort reculée d'une haute célébrité. Jusqu'au milieu du siècle dernier, les aciéries du Rhin et des Alpes fournissaient seules aux nations commerçantes les qualités supérieures d'acier [1].

[1] Voir, sur la fabrication et le commerce des aciers, deux Mémoires de M. le Play, ingénieur des mines. (*Annales des mines*, 1843, 1846.)

La fonte s'affine dans de petits foyers quadrangulaires, dont l'une des faces donne passage à la buse d'un soufflet. Quand le foyer est plein de charbons incandescents, on y fond successivement, sous le vent de la tuyère, 6 à 7 plaques de fonte de 3 à 4 centimètres d'épaisseur. Ces plaques sont disposées verticalement dans le foyer; on y ajoute des scories provenant d'une opération précédente, c'est-à-dire des silicates riches en oxyde de fer. On traite une première plaque, qui se rend, sous forme d'une masse parfaitement liquide, au fond du fourneau; mais bientôt, sous l'action oxydante du vent de la tuyère, la fonte se dépouille de son silicium et passe à l'état pâteux : on fond alors une seconde plaque, et, quand celle-ci, qui a d'abord liquéfié toute la masse, prend nature comme la première, c'est-à-dire commence à se transformer en acier, on fond une troisième, une quatrième plaque, et ainsi de suite. A la fin, le gâteau métallique ainsi obtenu ne fond plus en entier, le milieu seul se liquéfie. Quand on a fait fondre de 150 à 200 kilogrammes, on retire une masse d'acier nommée loupe, que l'on divise en forme de coins, puis que l'on étire en barres, soumises elles-mêmes à divers traitements dont nous parlerons plus loin.

On fabrique *l'acier de cémentation*, en chauffant pendant quelque temps le fer en barres minces à une température élevée, mais inférieure à celle qui déterminerait la fusion. Les barres de fer sont placées dans de grandes caisses rectangulaires avec du *cément* formé de charbon de bois dur, pulvérisé, auquel on mêle $\frac{1}{10}$ de son poids de cendres, et un peu de sel marin. Les caisses, qui renferment de 10,000 à 20,000 kilogrammes de fer, sont hermétiquement fermées, puis placées dans un fourneau où l'on maintient une température voisine de celle de la fusion du cuivre pendant sept ou huit jours.

La constitution de ces barres d'acier de cémentation est aussi peu homogène que celle de l'acier de forge; car les parties extérieures, immédiatement en contact avec le cément, sont déjà passées à l'état d'acier, quand l'intérieur est encore à l'état de fer pur : aussi ces barres d'acier de cémentation, aussi bien que celles d'acier naturel, sont-elles soumises au corroyage, à l'affinage pour les rendre plus homogènes. Les barres cémentées présentent à leur surface une foule de petites soufflures ou d'ampoules; c'est ce qui a fait donner à l'acier le nom d'*acier poule*.

Le raffinage de l'acier de cémentation se fait à peu près de la même façon que celui de l'acier de forge. On forme des trousses avec plusieurs barres, que l'on assortit en juxtaposant les barres dures sur les barres tendres : on les chauffe à une haute température, puis on en forme de nouvelles barres qui sont travaillées de la même façon. Celles-ci sont cassées en fragments, que l'on assortit encore durs et tendres, et l'on répète ces opérations un certain nombre de fois, suivant la qualité de l'acier que l'on veut obtenir.

Ces travaux nombreux exigent une grande dépense de main-d'œuvre et de combustible, et ne donnent jamais d'acier jouissant d'une parfaite homogénéité : aussi l'usage de l'acier fondu qui remplit complétement cette dernière condition, tend-il à s'étendre de plus en plus.

C'est de l'époque de la découverte de la fabrication économique de l'acier fondu que date, surtout pour certains fers de Suède, une réputation que rien n'a pu ébranler, et les fait considérer comme particulièrement propres à la fabrication de l'acier.

Mais c'est aussi de cette époque que date la véritable supériorité de l'acier de cémentation ; jusqu'au moment où l'on sut le fondre, l'Angleterre importait de l'acier naturel d'Allemagne, tandis qu'actuellement les usines du Yorkshire exportent annuellement plus de 40,000 quintaux métriques d'aciers corroyés ou fondus. L'auteur de la découverte de l'acier fondu, Benjamin Huntsmann, a donc droit à la reconnaissance de l'Angleterre. Cet ingénieur na quit en Yorkshire, en 1704, et c'est en 1740 qu'il établit à Handsworth, village situé près de Sheffield, la première usine à fabriquer l'acier fondu.

La fusion de l'acier a lieu dans des creusets d'argile réfractaire, disposés dans un fourneau à vent. La température nécessaire pour cette opération, une des plus élevées qu'on produise dans les arts industriels, est obtenue par la combustion d'un coke très-dense. On ne fond guère plus de 16 kilogrammes d'acier dans le même creuset, qui peut servir en général à trois fontes successives; on le rejette ordinairement ensuite. L'acier fondu est versé dans une lingotière, puis travaillé au marteau et à la lime, jusqu'à ce qu'il ait obtenu la forme sous laquelle il doit être employé.

A la consommation des creusets, qui ne laisse pas que d'être assez considérable, vient s'ajouter, dans ce procédé, l'inconvénient de ne pouvoir fondre à la fois que des quantités assez faibles d'acier;

aussi, dans ces derniers temps, M. Sudre a-t-il utilement remplacé les creusets par des fours à réverbère, où la température s'élève suffisamment pour obtenir la fusion de l'acier. Il y aurait à craindre, en opérant ainsi, l'action oxydante des gaz du fourneau qui pourraient dénaturer l'acier. M. Sudre pare à ce danger en jetant dans le four une certaine quantité de verre, qui fond bientôt et forme un vernis au-dessus du bain métallique et le préserve complétement de l'action de l'air.

L'acier, fondu, martelé, façonné, est soumis à la trempe.

Cette opération est de la plus haute importance; et de la température à laquelle on a porté l'acier, et de celle du bain dans lequel on l'immerge, dépendent en grande partie ses propriétés. Les bains sont formés d'eau ou de corps gras. Quand l'acier a été trop trempé, que le refroidissement brusque auquel il a été soumis l'a rendu trop dur et trop cassant, on le fait recuire, c'est-à-dire qu'on l'expose de nouveau à une température plus ou moins élevée, après quoi on le laisse refroidir lentement.

III

Nouveau procédé d'affinage de M. Bessemer.

Tout le monde a entendu parler des accidents terribles occasionnés par les *pailles* que présentent souvent les pièces de fer un peu fortes; ces pailles sont dues à une soudure incomplète des morceaux de fer obtenus par le puddlage; on comprend, en effet, que jamais deux surfaces réunies par une pression même considérable, ne pourront avoir entre elles une adhérence semblable à celle que présente la masse métallique elle-même; aussi le fer fondu serait-il certainement préférable au fer forgé, comme le platine fondu est infiniment plus doux à travailler, plus compacte que le platine forgé.

Mais fondre le fer est une opération très-difficile à réaliser, tant elle exige une température élevée, et, jusqu'à ces dernières années, on s'est contenté, comme nous l'avons vu, de souder les morceaux de fer les uns aux autres, en augmentant leur adhérence par de nombreux martelages, corroyages, etc.; toutefois on a expérimenté, il y a quelques années, un procédé d'affinage de la fonte et de sa conversion en fer ou en acier, dans lequel on se propose d'arriver

jusqu'à la fusion du métal pur, de façon que le fer fondu devînt un produit marchand comme l'est l'acier fondu.

Ce procédé, dû à M. Bessemer, a été successivement expérimenté en Suède, en Angleterre et en France, et, bien que nous ne sachions pas qu'il soit encore employé dans la grande industrie, il présente la question de l'affinage de la fonte sous un jour si nouveau, que nous n'hésitons pas à le décrire rapidement[1].

Qu'on imagine une grande cornue à col très-court, pouvant se renverser sur le côté en glissant sur son support, et on aura une idée de l'appareil employé par Bessemer pour affiner la fonte et en obtenir à volonté de l'acier ou du fer fondu.

En renversant d'abord la cornue de façon à présenter son orifice verticalement, on y fait pénétrer un filet de fonte en fusion; l'appareil est ensuite redressé et le travail commence; il consiste à faire passer au travers de la masse fondue de l'air à une pression d'une atmosphère et demie environ. « L'air, en se répandant dans le métal fondu, dit M. Bessemer, se divise lui-même en une infinité de bulles qui s'échappent avec violence en entraînant un grand nombre de parcelles de métal qui retombent dans la masse bouillonnante. Tout l'appareil tremble par la violence de l'agitation, et une flamme rugissante s'échappe par l'ouverture du vase. » Personne ne s'étonnera certainement qu'on puisse ainsi produire une température très-élevée sans addition de charbon, car chacun sait que le fer est une matière très-combustible, et les auditeurs des cours de chimie ont vu souvent la combustion d'un ressort d'acier dans l'oxygène. « A mesure que l'opération avance, la flamme change de teinte, de violette devient orange, puis à la fin blanche et très-volumineuse. Les étincelles, très-larges au commencement, comme celles de la fonte ordinaire en fusion, deviennent plus petites et petillantes; au moment où la formation du fer approche, elles paraissent blanches et claires. La formation d'une couche de scorie est avantageuse en préservant la masse du refroidissement. La chaleur s'élève pendant l'opération à un degré inconnu jusqu'ici dans la fabrication du fer. Elle est suffisante non-seulement pour fondre le fer, mais encore pour le verser dans une poche qu'on vide ensuite dans une lingotière. »

[1] Voir, pour plus de détails, les *Bulletins de la Société des ingénieurs civils*, années 1860-1861.

Que l'affinage de la fonte se produise très-complétement dans ces circonstances, personne n'en peut douter, « car l'injection de l'air dans le bain de fonte liquide par un grand nombre de tuyères à la fois, tout en multipliant extraordinairement l'étendue des surfaces en contact direct avec le réactif, provoque en même temps un violent bouillonnement qui mélange sans cesse les produits naissants de la réaction; il en résulte que l'oxygène, dans son passage à travers la masse, doit continuellement rencontrer le carbone et le silicium avec lesquels il doit se combiner. C'est, en somme, une méthode radicale qui réalise, sous une autre forme et de la manière la plus heureuse, les effets du brassage des fours à puddler combinés avec ceux du soufflage des fours d'affinerie, sans le secours d'aucune main-d'œuvre pénible et coûteuse, et, comme il procure encore l'immense avantage de développer une élévation de température capable de conserver en toutes circonstances sa fluidité au métal, les réactions peuvent s'achever d'une manière homogène et plus complète, sans l'emploi d'aucun combustible étranger[1]. »

L'auteur, qui montrait à la Société des ingénieurs civils de Londres des produits fort remarquables obtenus par son procédé, assure qu'il est facile de juger à quel point est arrivé l'affinage par la couleur des flammes ou bien encore en dosant le volume d'air qu'on fait passer à travers l'appareil, et en arrêtant l'opération quand on a fait pénétrer la quantité d'air que des tâtonnements précédents ont montrée être convenable pour transformer une masse de fonte de poids connu, soit en acier, soit en fer.

Nous croyons que c'est peut-être cependant dans la détermination de la quantité d'air à lancer dans l'appareil, qu'on a trouvé le plus de difficultés au moment où le procédé a été étudié, dans nos départements méridionaux; l'action de l'air est si intense, que si elle se prolonge quelques minutes de plus ou de moins, la nature des produits obtenus peut énormément varier.

Le procédé Bessemer, mis en pratique sur des fontes de très-bonnes qualités, comme celles que livrent les hauts-fourneaux aux bois des Pyrénées ou de Corse, donne de très-bons résultats, ces fontes renfermant surtout du carbone et du silicium : l'oxygène, en se

[1] *Bulletin de la Société des ingénieurs civils.*

répartissant au milieu de cette masse fondue et bouillonnante, les réduit parfaitement bien.

Lorsque les fontes contiennent du soufre, du phosphore et d'autres métaux que le fer, l'élimination n'en est plus aussi facile ; aussi le procédé Bessemer ne paraît-il pas convenir à l'affinage des fontes au coke produites en Angleterre.

Nous n'avons pas l'intention de discuter spécialement, dans cet écrit, le mérite de cette nouvelle méthode, qui rencontre naturellement de grandes difficultés à détrôner les procédés universellement employés, qui ont pour eux l'avantage d'être parfaitement connus des ouvriers ; mais l'idée originale de ce nouveau traitement, l'excellence des produits qu'il donne lorsqu'il est bien employé, le recommandent certainement à l'attention des métallurgistes.

IV

Des emplois de l'acier. — Acier mixte.

Qu'il soit obtenu par une méthode ou par une autre, l'acier fondu est une matière première éminemment utile pour la fabrication de tous les objets qui exigent une grande dureté ; son emploi le plus important est la coutellerie fine : les rasoirs, les instruments de chirurgie, les ciseaux, les couteaux fins, sont tous en acier, et leur prix est d'autant plus élevé que la matière première a été préparée avec plus de soin, qu'on y a dépensé plus de main-d'œuvre et de temps.

A ces usages auxquels l'acier est employé depuis un temps immémorial s'en ajouteraient bien d'autres, s'il était possible de conserver à l'acier sa dureté, en lui donnant cependant une certaine flexibilité, en lui enlevant un peu de sa fragilité.

Or c'est ce qu'on a réussi à obtenir dans ces derniers temps en soudant à l'acier du fer ; on obtient ainsi un métal dur, rigide, moins cassant et enfin moins cher que l'acier fondu.

Depuis longtemps on avait eu cette pensée, et depuis longtemps aussi on soudait de l'acier à du fer pour fabriquer à bon marché des instruments tranchants : les cognées, les haches des bûcherons, les faux même quelquefois, possèdent des tranchants d'acier soudés à un corps de fer.

Cette fabrication a reçu depuis quelques années une grande extension, et M. Verdié livre actuellement à la consommation un *produit mixte* formé d'acier et de fer; le procédé de fabrication est des plus simples : le fer auquel on doit souder de l'acier est porté au rouge blanc dans un four à réverbère; à peine est-il sorti qu'on y projette du borax pour empêcher l'air atmosphérique d'oxyder la surface, puis on y coule de l'acier fondu. Aussitôt que la masse est figée, on la soumet à l'action des marteaux et on la fait passer entre les cylindres des laminoirs.

Quand l'opération est bien faite, on n'aperçoit aucune trace de soudure entre les deux matières : elles se sont si intimement unies, qu'on ne saurait indiquer où l'acier commence, où le fer finit ; il paraît même qu'il y action chimique entre les deux matières; que le fer prend à l'acier une partie de ses éléments, de telle sorte que de la surface de l'acier à celle du fer on passe par une dégradation continue, et qu'au milieu le produit est bien réellement mixte.

Les usages du fer à couverture d'acier sont nombreux, mais aucun n'est plus important que son emploi à la confection des bandages des roues qui portent les wagons de chemins de fer.

On a essayé successivement pour cet emploi le bandage en fer, dont le bon marché avait séduit d'abord; mais ce métal, trop mou, ne résiste pas au roulement et ne tarde pas à s'écraser.

On avait alors songé à cémenter seulement la surface du bandage de façon à transformer en acier une petite épaisseur de fer ; les bandages ainsi préparés sont d'abord d'un bon usage; mais, si on veut les *rafraîchir*, c'est-à-dire les soumettre à l'action du tour pour leur rendre la régularité de forme qu'ils avaient eu d'abord, on enlève la partie cémentée et on n'a plus qu'un bandage en fer ordinaire.

L'acier de forge, auquel on a songé aussi, s'use inégalement, ce qu'explique son manque d'homogénéité.

En éliminant l'acier fondu à cause de son prix et de sa fragilité, on voit que l'acier mixte peut seul convenir, et qu'il présente à la fois une solidité et une résistance à l'usure qui lui donnent le premier pas, dans cette application comme dans toutes celles où le métal devra présenter une très-grande dureté unie à une très-grande résistance.

Son emploi pour les bandages a au reste si bien réussi, qu'on a

songé, dans ces derniers temps, à l'utiliser pour les rails de chemins de fer, au point où l'usure est le plus à craindre, par exemple dans l'intérieur des gares.

L'heureuse idée de M. Verdié a donc réellement fait faire un pas important à l'art du constructeur en métaux.

V

Opinions anciennes sur la nature de l'acier. — Remarques pratiques. La propension aciéreuse. — M. le Play.

Nous arrivons enfin à la question spéciale que nous nous proposons de traiter. Quelle est la véritable nature de l'acier ?

Ce n'est guère qu'à la fin du dix-huitième siècle qu'on a commencé d'avoir sur ce sujet des idées précises.

Il est facile de voir, dans les fontes grises, une substance graphiteuse très-riche en charbon ; elle disparaît par l'affinage de la fonte et sa transformation en acier ; on fut donc conduit naturellement à penser que la fonte renferme plus de graphite, plus de charbon que l'acier ; d'autre part, l'expérience ayant appris qu'on peut transformer le fer en acier en le chauffant avec du charbon, l'acier fut généralement considéré comme un produit intermédiaire entre le fer et la fonte, renfermant plus de carbone que le premier et moins que le second.

En 1790, au moment où la chimie se fonda définitivement, Guyton de Morveau s'énonce, en effet, ainsi : « On voit que le passage de la fonte à l'état d'acier se fait ainsi, dans tous les cas, par dépuration du fer et soustraction de l'excès de plombagine ; la conversion du fer en acier s'opère principalement parce qu'il s'y forme ou qu'il reçoit une quantité sensible de plombagine ; que la chaleur n'influe d'abord dans ces changements qu'en produisant et entretenant la fluidité, sans laquelle il ne se fait point de combinaison ; que la composition qui constitue l'acier peut très-bien, par son efficacité propre, fixer une plus grande quantité de matière de la chaleur ; en un mot, que les propriétés générales de l'acier dépendent d'une juste dose de ses principes, comme les différentes qualités des aciers dépendent des accidents qui en varient les proportions. »

L'opinion de Guyton de Morveau, admise par Monge, Vander-

monde et Berthollet dans l'instruction adressée aux ouvriers en fer qu'ils rédigèrent en l'an II, d'après les ordres du Comité de salut public, fut encore appuyée par une expérience restée célèbre.

En l'an VI, Clouet, se proposant de montrer que l'acier diffère bien du fer par une certaine quantité de charbon, et voulant mettre de côté toutes les objections qui pouvaient naître de l'état d'impureté du charbon employé dans la cémentation, plaça un diamant au centre d'un morceau de fer et le vit se transformer en acier; l'expérience toutefois n'est peut être pas concluante; on ignorait, à l'époque où ces essais ont été faits, que le fer fût fusible, et on ne cherchait peut-être pas assez rigoureusement à reconnaître dans le produit obtenu les caractères spécifiques de l'acier.

On admit donc en général, depuis cette époque, que l'acier était un carbure de fer; mais on remarqua bientôt que cette connaissance était complétement insuffisante pour guider le fabricant, et on proposa successivement une foule de recettes empiriques dont la plupart, essayées d'abord avec enthousiasme, furent bientôt après rejetées avec mépris.

Les idées adoptées sur la nature de l'acier n'expliquent pas davantage, au reste, comment toutes les fontes ne peuvent pas donner d'acier, comment tous les fers ne sont pas susceptibles d'être cémentés; c'est cependant un fait parfaitement connu des métallurgistes, qui reconnaissent certains minerais comme particulièrement propres à fournir des fontes capables de donner de l'acier, et certains fers comme doués de *propension aciéreuse*.

La théorie étant incapable de guider les ingénieurs et les industriels, ils s'en tinrent uniquement à l'empirisme et recherchèrent dès lors avec soin ces matières premières que l'expérience avait montré être particulièrement propres à atteindre le but désiré.

C'est ainsi que les Anglais, avec le sens pratique qui les caractérise, ont su s'assurer la possession de tous les fers *aciéreux* que produisent depuis fort longtemps la Suède et la Norvége. — Pour M. le Play, qui a étudié cette question sur place avec grand soin et dont les observations ont, au point de vue pratique, un grand poids, l'énergie de la *propension aciéreuse* du fer, de la facilité qu'il a à donner de l'acier, est due à la nature du minerai. — Rien ne peut remplacer cette qualité, qu'on apprécie sans savoir la définir; on a fait en Angleterre des essais mille fois répétés pour remplacer par un traitement extrêmement soigné des minerais, par une épu-

ration complète des fers, cette qualité des produits suédois : on a toujours échoué, et les fabricants de la Grande-Bretagne sont tellement persuadés aujourd'hui que rien ne peut remplacer cette qualité supérieure et hors ligne des fers de Danemora, que leur valeur, qui était en 1766 de 15 pour 100 au-dessus de la valeur des autres marques, est aujourd'hui montée à 100 pour 100 au-dessus de la valeur de tous les autres fers connus.

Tous les minerais de cette contrée ne sont pas, au reste, cotés aussi haut : « L'étude comparative des minerais, rapprochée de la valeur des fers produits dans les diverses forges, démontre qu'elle est due à des nuances extrêmement délicates et qui vraisemblablement resteront longtemps encore un mystère pour la science...

« En Suède, l'opinion générale est que les forges les plus arriérées sous le rapport technique sont précisément celles de Danemora, où se produisent cependant les meilleurs fers à aciers. Ces usines ont conservé presque sans modification les méthodes de travail qui y furent introduites par Louis de Gier en 1643, au moyen d'ouvriers amenés à cet effet de l'ancien pays wallon.

« En résumé, dit M. le Play[1], l'expérience acquise en Suède et en Grande-Bretagne ne donne nullement lieu d'espérer que l'art puisse développer dans le fer la propension aciéreuse, et qu'à cet égard on puisse suppléer à l'insuffisance des minerais par les progrès de la métallurgie. Les forges de Danemora, qui produisent des fers à acier classés hors ligne parmi tous les fers connus, sont précisément celles qui ont conservé les plus anciennes méthodes de travail ; tous les fabricants de ce district sont convaincus qu'ils n'ont rien à gagner à modifier les procédés qui y sont établis depuis 1663.—Si, malgré cet état stationnaire, les forges de Danemora ont vu croître constamment depuis deux siècles la réputation de leurs produits, c'est qu'en cette matière, comme en beaucoup d'autres, la nature est plus puissante que l'art. »

On peut sans doute, au point de vue pratique, se contenter des indications de M. le Play et marcher dans la voie à l'issue de laquelle il montre le succès : acheter en Suède des fers aciéreux et fabriquer en France de l'acier fondu comme en Yorkshire. Le chimiste toutefois est loin d'être satisfait, et cette *propension aciéreuse* dont il ignore la cause lui apparaît comme un problème dont

[1] *Annales des mines*, 1843-1846.

il doit finir par trouver la solution, car c'est le propre de la science de ne pas se payer de mots, et de chercher toujours la raison déterminante des faits observés.

On se pose donc la question, pourquoi certains fers sont-ils plus aptes que d'autres à donner de l'acier. Ce serait peut-être par une analyse très-soignée de ces matières qu'on pourrait arriver à le savoir, d'autant plus que M. le Play remarque encore que la propension aciéreuse n'est nullement synonyme de pureté. Ce n'est pas cependant par cette voie qu'on a procédé. On a continué, dans ces derniers temps, à agir synthétiquement, en s'efforçant de produire de l'acier dans des circonstances bien définies et bien déterminées, de façon à pouvoir apprécier l'influence de chacune d'elles.

VI

L'acier est-il un fer carbo-azoté? — M. Saunderson, M. Frémy, M. Caron.

En 1859, M. Nicklès, qui rédige pour le *Journal de chimie et de pharmacie* un compte-rendu des travaux publiés à l'étranger, résuma une théorie de l'aciération proposée récemment par M. Saunderson, habile fabricant anglais [1].

Les conclusions de cet ingénieur sont présentées très-clairement par M. Nicklès de la façon suivante :

1° Le fer de forge chauffé en présence du poussier de charbon ne se transforme pas en acier ;

2° La transformation a lieu lorsqu'on laisse libre accès à l'air atmosphérique ;

3° L'oxyde de carbone pur est sans action ;

4° L'ammoniaque ou l'azotate d'ammoniaque sont incapables d'aciérer le fer ;

5° Il en est de même de divers hydrogènes carbonés employés ;

6° Mais le fer est aciéré lorsqu'on fait intervenir à la fois de l'ammoniaque et du gaz oléfiant ;

7° La tranformation peut être opérée par de l'ammoniaque pure ou du sel ammoniac lorsqu'on emploie un fer carburé ;

8° Le potassium ou sa vapeur ne produit rien, mais il se produit de l'acier quand on emploie du cyanure de fer ou de potassium ;

[1] Tome XXXVI, p. 310.

9° Le cyanure de potassium pur réussit aussi bien que le cyanoferrure, ce qui prouve que le principe actif ne réside pas dans le fer du cyanoferrure; d'où l'auteur conclut que la transformation n'a lieu qu'à la condition d'un *concours simultané du carbone et de l'azote.*

Il ajoute qu'on trouve de l'azote partout où le fer passe à l'état d'acier, qu'il en est ainsi même dans les caisses à cémentation qui ne sont pas suffisamment closes pour exclure la présence de l'air et par conséquent de l'azote qu'il renferme. Il rappelle à cette occasion le rôle des rognures de peau, des copeaux de corne et du charbon animal qu'on emploie fréquemment dans la confection de l'acier. On n'acière pas en trempant un fer rouge dans de l'huile d'olive pure; mais on réussit avec le suif, précisément parce que ce dernier est azoté, grâce aux membranes animales qu'il contient, tandis que l'huile d'olive est exempte d'azote.

Si les analyses d'acier faites jusqu'à ce jour ne mentionnent pas la présence de l'azote, c'est, dit l'auteur, parce que ces analyses ont été mal faites ou exécutées sous l'influence d'idées préconçues.

Cette assertion n'est pas exacte, ajoute M. Nicklès. Il existe, en effet, une série d'analyses de fer, de fonte et d'acier qui attestent la présence de l'azote dans ces métaux; seulement, tous n'en renferment pas, et le maximum qu'on en ait pu trouver se monte à 0.02 pour 100. Ces analyses sont d'autant moins suspectes que leur auteur, feu M. Marchand, de Halle, est parti d'un point de vue tout à fait étranger à la théorie de l'acier. Après qu'il eut constaté que la titane des hauts-fourneaux n'est pas un corps simple, mais bien un mélange de cyanure et d'azoture de titane, M. Marchand pensa qu'il pourrait en être de même de la fonte et de l'acier. Il ne demandait donc pas mieux que de trouver de l'azote dans ces carbures, et on ne dira pas que les résultats négatifs ont été obtenus sous l'influence d'une idée préconçue. Si donc l'acier peut être considéré comme exempt d'azote, cela ne veut pas dire que ce métalloïde gazeux ne joue pas un rôle dans le phénomène de la transformation.

Le mémoire que nous venons de citer, malgré son importance, n'eut pas tout le retentissement qu'il méritait; mais la question, reprise par M. Caron, puis par M. Frémy, fut alors très-longuement discutée.

Ces deux chimistes n'en étaient pas à leur début. M. Caron, qui

s'est surtout occupé de chimie minérale, a travaillé à plusieurs reprises avec M. H. Sainte-Claire Deville; ils ont cherché en commun à produire des alliages renfermant les métaux alcalino-terreux et y sont heureusement arrivés ; ils ont obtenu, également à l'aide de procédés ingénieux, plusieurs substances cristallisées qu'on avait été jusqu'alors impuissants à reproduire.

M. Frémy a dirigé ses études dans une voie assez différente de celle dans laquelle la plupart des chimistes sont engagés aujourd'hui : après avoir fait nombre de mémoires intéressants sur des questions de chimie pure, après avoir classé les acides métalliques et en avoir découvert plusieurs, après avoir produit un nombre considérable de substances nouvelles renfermant du cobalt et de l'ammoniaque, après avoir indiqué la préparation de plusieurs sulfures jusqu'alors inconnus, il a pris au sérieux le titre de la chaire qu'il occupe au Muséum, et il s'est voué surtout à la chimie appliquée à l'histoire naturelle.

Des études consciencieuses sur les os des animaux de tous les embranchements zoologiques, des travaux curieux sur la nature des tissus qui forment le squelette des plantes, font de lui un des derniers représentants de cette école de chimie, curieuse surtout de faits, peu pressée de conclure, un peu hostile aux formules dont d'autres abusent aujourd'hui, et qui a rendu de si grands services à la science, en lui donnant des bases solides et certaines.

Son laboratoire du Muséum est ouvert libéralement à nombre de jeunes gens désireux de s'instruire, et, quant à nous, nous n'oublierons jamais que c'est sous ses yeux que pour la première fois nous avons chauffé une cornue.

Au mois d'octobre 1860, M. Caron, frappé de l'importance qu'avaient dans la cémentation les matières azotées, frappé en même temps de l'idée que le carbone devait forcément être à l'état gazeux pour pénétrer dans les pores du métal à cémenter, dilatés par la chaleur, annonça qu'il devait se former dans les caisses de cémentation des cyanures, qui étaient probablement les agents d'aciération. Au reste, M. Caron pensait que ces produits devaient se décomposer sous l'influence du fer, et que le charbon seul restait fixé au métal. — Ce chimiste, on le voit, donnait une nouvelle explication du fait de l'aciération, mais restait partisan des idées généralement admises sur la nature de l'acier, à savoir, que c'est un carbure de fer.

Cette communication en suscita une autre de M. Frémy, rappelant les travaux de Saunderson, les analyses de Marchand, dont toutefois il n'approuvait pas les conclusions ; il appela l'attention des chimistes sur le rôle que pouvaient jouer les métalloïdes dans les phénomènes d'aciération, et sur l'influence qu'ils pouvaient avoir sur les propriétés physiques du fer.

Ce ne fut cependant qu'un peu plus tard, au commencement de 1861 [1], que M. Ed. Frémy aborda résolûment cette question par une série de recherches qui devaient susciter autant d'éloges que d'objections.

Rappelant d'abord les expériences anciennes de M. Despretz sur l'action de l'ammoniaque sur le fer, il reconnut qu'on pouvait obtenir entre ces deux substances une combinaison, un azoture de fer, plus facile cependant à produire en faisant réagir le gaz ammoniac sur le protochlorure de fer. L'azoture de fer ainsi obtenu, chauffé dans un creuset brasqué de charbon, éprouvait une modification importante, perdait de l'azote et donnait une substance qui, à première vue, paraissait se rapprocher de l'acier.

Quelques jours plus tard [2], M. Frémy revint sur ce premier résultat pour le compléter, et donna une nouvelle théorie séduisante de l'aciération.

Le savant chimiste du Muséum faisait observer d'abord que, lorsqu'on dissout l'acier dans un acide, on obtient une substance qui ne ressemble en rien à du carbone pur, mais qui, d'après lui, se rapproche beaucoup de certains produits cyanurés.

Cette observation, qui se rapportait à une ancienne opinion du baron de Liebig sur l'existence du paracyanogène dans les hauts-fourneaux et même dans l'acier, permettait de conclure qu'on obtiendrait probablement de l'acier en faisant agir sur du *fer azoté* un gaz capable de lui donner du charbon, de la même façon qu'on avait déjà obtenu une substance analogue à l'acier en fondant dans un creuset brasqué ce fer azoté.

M. Frémy fit l'expérience comparativement sur le fer pur et sur le fer azoté. « Quand on fait passer, dit-il, pendant deux heures à une température rouge du gaz d'éclairage desséché sur le fer, on obtient une carburation très-régulière et on convertit le métal en

[1] 25 février.
[2] 11 mars.

une fonte grise graphiteuse très-malléable, et comparable en tous points aux plus belles fontes au charbon de bois. »

Lorsqu'on fait réagir le corps carburant sur du fer azoté, on voit apparaître dans le composé métallique le caractère de l'acier.

L'aciération peut être même produite par l'action simultanée de deux gaz. — « Ne serait-il pas curieux, ajoute M. Frémy, de voir un jour dans la cémentation du fer le charbon de bois être remplacé par les produits de la distillation de la houille?

« ..... Tous ces faits établissent déjà d'une matière positive le rôle important que joue l'azote dans le phénomène de l'aciération, il me restait à rechercher si l'azote, qui est un agent évident de cémentation, reste dans le composé métallique, ou s'il n'est destiné seulement, comme on l'a dit, qu'à présenter au fer le carbone dans un état favorable à la combinaison chimique. »

Pour s'en assurer, M. Frémy soumit à l'action d'un courant d'hydrogène l'acier qu'il avait obtenu par l'action simultanée du gaz d'éclairage et de l'ammoniaque, et parvint à en dégager des vapeurs ammoniacales. Des aciers du commerce soumis au même traitement donnèrent le même résultat.

M. Frémy crut donc pouvoir résumer son mémoire par cette conclusion très-positive :

L'acier n'est pas un carbure simple, mais un fer azoto-carburé.

L'Académie des sciences accueillit cette importante communication de son confrère avec le plus grand intérêt.

M. Dumas, la considérant surtout au point de vue pratique, montra combien cette nouvelle méthode de cémentation par les gaz pouvait devenir utile. « Qui ne prévoit, par exemple, dit-il, et il appartient à M. Frémy d'en poursuivre la démonstration, tout le parti qu'on peut tirer de ces nouveaux procédés d'aciération méthodiques, réguliers et constants, lorsqu'on a besoin de durcir seulement la surface ou le tranchant de certains instruments ou outils en fer?.... Après les avoir forgés, limés et façonnés à l'état de fer, on les aciérera plus ou moins profondément dans un courant de gaz ammoniac et de gaz carburés. On pourra régler la profondeur de la couche d'acier par la durée de cette cémentation gazeuse avec une certitude que la cémentation dans les poudres ou l'emploi

de la corne et des matières animales dans le procédé empirique de la trempe en paquets n'obtenaient jamais. »

M. le général Morin fit remarquer que la découverte de M. Frémy expliquait parfaitement l'emploi des mélanges qui contiennent dans des proportions diverses du carbone et des substances plus ou moins azotées, telles que des sels ammoniacaux, des râpures de corne, des débris de cuir, etc.

M. Chevreul, le doyen des chimistes français, prit aussi la parole, et rappela que, si à l'époque où la chimie devint une science positive, on avait attribué la différence qui existe entre le fer et l'acier à quelques millièmes de carbone, on avait depuis obtenu du fer durcissant par la trempe par plusieurs autres procédés. C'est ainsi que M. Berthier, mort récemment, parla du chrome, que MM. Faraday et Stodart obtinrent, au moyen du fer fondu et de quelques centièmes d'iridium et d'osmium, un acier qui ne donnait à l'analyse qu'ils en firent aucune trace de carbone.

A l'une des séances suivantes, M. Caron, qui, comme on l'a vu, avait déjà présenté à l'Académie un procédé d'aciération par les cyanures, adressa à cette compagnie une note où il critiquait d'une façon fort amère les conclusions de M. Frémy.

On avait déjà, à plusieurs reprises, disait-il, cru trouver de l'azote dans l'acier; Otto Graham, dans un traité de chimie publié en 1855, écrivait : « On a récemment avancé à plusieurs reprises que la fonte de fer et l'acier renferment toujours, outre le carbone, une petite quantité d'azote, qu'ils contiennent vraisemblablement à l'état de cyanogène; mais Marchand a obtenu des résultats négatifs sur ce sujet. » M. Caron pensait donc qu'avant de se prononcer sur la nature de l'acier, il fallait déterminer en quelle quantité l'azote pouvait entrer dans l'acier et se mettre en garde contre les traces d'ammoniaque que renferment toujours les oxydes de fer qui peuvent exister sur les aciers mis en expérience, ou sur les limes employées pour réduire ces aciers en poudre.

Enfin M. Caron prétendait que la méthode d'aciération de M. Frémy et la sienne n'en faisaient en réalité qu'une seule. « Car le gaz de l'éclairage contient de l'hydrogène et du charbon libre au rouge; or, d'après les propres expériences de M. Frémy, l'hydrogène en contact avec le fer azoté se transforme en ammoniaque, et, d'après M. Langlois, l'ammoniaque et le charbon se transforment au contact en cyanhydrate d'ammoniaque, que

M. Frémy a developpé au contact du fer dans ces deux opérations que j'avais réunies en une seule. »

Les communications de M. Frémy et de M. Caron se suivent dès lors avec une grande rapidité.

Dans la séance du 1er avril, M. Frémy annonce qu'il persiste dans son opinion; l'acier est un azotocarbure de fer, et, en analysant avec soin toutes les circonstances dans lesquelles on cémente, on trouvera qu'au charbon doit toujours s'associer l'azote ; les gaz qui circulent dans les caisses de cémentation, le charbon végétal lui-même, sont azotés ; le fer commence donc par se charger d'azote, en décomposant probablement de l'ammoniaque dont l'hydrogène dégagé rend le fer poreux, et permet ensuite aux gaz carbonés qui se produisent par l'action de la chaleur sur le cément de pénétrer le métal et d'enlever l'excès d'azote qui y est entré d'abord ; l'azote serait ainsi chargé de faire la navette, suivant l'expression heureuse de l'habile chimiste du Muséum : se combinant d'abord au fer de façon à produire le fer azoté, il serait chassé plus tard par les composés carbonés, auxquels il faciliterait l'accès du métal par la combinaison qu'il a d'abord formée avec lui. M. Frémy ajoute enfin que, si on a pu aciérer le fer en le soumettant successivement à l'action d'un courant d'ammoniaque, puis de gaz hydrocarboné, on peut le désaciérer par l'hydrogène, en lui enlevant son azote.

Cependant comme dans ce cas l'hydrogène enlève à l'acier près de 1 pour 100 de son poids, on doit en conclure que toute la matière aciérante est enlevée ; l'hydrogène incomplétement desséché doit donc dégager, en même temps que l'azote, le carbone, de telle sorte que, s'il y a eu désaciération, il ne serait pas exact d'ajouter que ce phénomène est dû à l'élimination de l'azote, car personne n'a jamais pensé qu'il y ait 1 pour 100 d'azote dans l'acier.

On trouverait facilement d'autres objections à faire au rôle que M. Frémy donne à l'azote; l'air a peu d'accès dans les caisses de cémentation, on ne cherche pas à l'y faire pénétrer; il n'est donc pas probable que ce soit l'azote gazeux qui agisse; c'est ce que M. Jullien a démontré, au reste, en aciérant du fer dans une atmosphère d'où l'azote gazeux était complétement exclus. Mais M. Frémy a reconnu que les charbons végétaux renferment toujours de l'azote, qu'après un certain temps ils s'épuisent et ne peuvent plus servir, ce qui est incompréhensible dans l'ancienne théorie, qui admet l'aciéra-

tion par le charbon seul; qu'enfin il est possible que le fer sur lequel on agit soit lui-même légèrement azoté, et qu'en croyant cémenter avec du charbon, on ne fasse, en définitive, qu'apporter à l'azote existant déjà dans le métal le complément nécessaire à la constitution de la matière aciérante.

Plus tard, M. Frémy, soutenant toujours son opinion, cite une expérience bien faite pour convaincre. Il prend une barre de fer et la coupe en deux; la première partie est soumise à l'action de l'ammoniaque; le gaz est décomposé, le fer se charge d'azote, puis, quand le fer est ainsi azoté, on le place dans un long tube de porcelaine qui a reçu dans sa partie antérieure l'autre barre de fer non azotée; sur ces deux morceaux de fer on fait passer pendant plusieurs heures le gaz de l'éclairage à la température rouge; la première barre est transformée en fonte, la seconde en acier.

Enfin, pour terminer le récit des faits établis par M. Frémy, nous devons encore ajouter qu'il assure qu'en attaquant l'acier par du bichlorure de cuivre ou acide chlorocuivrique, on obtient un résidu brun, solide, qui par une calcination en présence de la chaux, dégage des quantités notables d'ammoniaque.

On regrettera certainement que M. Frémy n'ait pas remplacé le mot notable par un chiffre, et que, si imparfaites que soient à son point de vue les méthodes de dosage de l'azote, il n'en ait pas employé une quelconque; en admettant même que celle qu'il eût utilisée laissât échapper une partie de l'azote, elle en eût accusé probablement une quantité suffisante pour convaincre les incrédules.

Ce qui établit une scission complète entre M. Caron et M. Frémy, c'est que l'habile capitaine d'artillerie pense que, si les cyanures sont, comme nous l'avons vu d'après ses premières communications, d'excellents agents de cémentation, ils conviennent, parce que, étant volatils, ils peuvent porter le carbone dans tous les pores des métaux ; mais c'est leur volatilité qui est précieuse, et nullement l'azote qu'ils renferment.

« Pour obtenir la transformation du fer en acier, dit le chimiste de la direction d'artillerie, il faut que l'agent de cémentation puisse apporter le charbon à l'état de combinaison jusque dans les pores du fer où ce métal se l'approprie à l'état naissant. Toutes les fois que l'on met le fer et la matière aciérante dans d'autres conditions, il n'y a plus de cémentation. »

L'auteur termine le mémoire dont nous donnons maintenant l'analyse par cette phrase des plus explicites empruntée au chimiste allemand Marchand : « S'il y a de l'azote dans l'acier, il appartient nécessairement à des matières mélangées au fer, matières qui ne font pas plus partie intégrante du métal que les scories qu'on y trouve mêlées. »

Dans les séances suivantes, la question se complique, les communications et les réclamations affluent. M. Saint-Cricq-Cazeau rappelle d'abord que, d'après une note de Dufrénoy, insérée aux annales des mines en 1854, M. Mac Instosh, industriel bien connu en Angleterre, avait dès lors imaginé de cémenter le fer en le chauffant dans un courant du gaz de la houille. Il avait obtenu de l'acier de qualité supérieure, et plusieurs milliers de kilogrammes fabriqués par ce procédé avaient été convertis en acier fondu et employés à la fabrication d'instruments exigeant de l'acier de première qualité.

Au reste, M. Mac Intosh, comme M. Frémy l'avait fait récemment, pouvait obtenir de la fonte en prolongeant l'action du gaz de l'éclairage sur le fer.

Dans le mémoire qu'il adresse à l'Académie, M. Gruner, comme M. Saint-Cricq-Cazeau, rappelle l'expérience de Mac Intosh et la note de Dufrénoy; M. Gruner, au reste, assure qu'il est possible d'aciérer le fer à l'aide du gaz de l'éclairage seul, sans avoir besoin de l'azoter d'abord ; toutefois, comme le gaz de l'éclairage renferme de l'ammoniaque, l'auteur ne se croit pas en droit de prononcer sur la non-existence de l'azote dans l'acier ; M. Gruner fait encore remarquer que, d'après le mode de fabrication même de l'acier de forge, l'azote qu'il peut contenir provient de la fonte elle-même, car il ne lui paraît pas possible que cet azote puisse s'unir au fer pendant l'affinage.

M. Caron, toujours sur la brèche, revient sur ses communications précédentes, les complète et annonce que, de tous les cyanures qu'on peut employer à l'aciération, celui qui réussit le mieux est le cyanure de baryum, parce qu'étant moins volatil que les cyanures alcalins, son action peut se prolonger sur le fer et amener une aciération complète. Cette communication soulève toutefois encore une réclamation, non pas quant à l'emploi du cyanure de baryum, mais quant à sa découverte et à sa préparation indiquées l'année précédente par MM. Margueritte et de Sourdeval, qui, au-

tant qu'il nous en souvient, avaient le projet d'employer ce cyanure à la préparation artificielle de l'ammoniaque.

Nous avons, au risque de fatiguer l'attention du lecteur, essayé de faire passer sous ses yeux les pièces les plus importantes du procès qu'il s'agit de juger; mais nous ne pouvons indéfiniment accumuler les faits, il faut conclure. Plusieurs questions se présentent que nous allons essayer, non de résoudre, mais de résumer clairement.

1° L'acier est-il du fer carbo-azoté?

2° L'acier est-il un fer renfermant, outre le carbone, un autre métalloïde, en d'autres termes, la matière aciérante est-elle ou n'est-elle pas le charbon pur?

3° L'acier serait-il purement et simplement du fer sous une modification moléculaire particulière produite par le *contact* de certaines matières, notamment des substances carbo-azotées?

Examinons successivement ces trois points.

L'acier est-il du fer carbo-azoté? M. Frémy l'affirme; malheureusement il n'a pas donné jusqu'à présent d'analyse quantitative qui le puisse prouver.

Ayons donc recours à d'autres savants.

Marchand, nous l'avons dit, n'avait trouvé dans l'acier, dans le fer et dans la fonte que des quantités d'azote extrêmement faibles. M. Caron, en traitant l'acier par l'hydrogène, trouva aussi des proportions d'azote très-faibles; enfin M. Bouis et M. Boussingault intervinrent également dans la discussion, dans le but de rechercher l'azote dans le fer et l'acier.

M. Bouis a cherché l'azote dans l'acier en soumettant cette substance à l'action d'une température rouge et d'un courant d'hyrogène; ce gaz devait enlever l'azote à l'état d'ammoniaque, et celle-ci, recueillie dans un acide, y était dosée à l'aide des liqueurs titrées; les quantités trouvées par ce procédé sont très-faibles. M. Bouis indique, au reste, qu'il n'a pu obtenir tout l'azote contenu dans l'acier; car, en limant une des barres soumises au courant d'hydrogène, puis en la traitant de nouveau, on y retrouvait des quantités d'azote égales à celles qu'on avait trouvées d'abord; on remarquera aussi que l'ammoniaque est décomposable par le fer au rouge, de façon qu'il est possible qu'on perde, par la décom-

position de l'ammoniaque, une partie de l'azote qui se trouvait dans le produit à analyser; en ramenant les nombres trouvés par M. Bouis à 100 grammes de matière, on trouverait :

Dans 100 grammes	de spirales d'acier Krupp. . .	0,009	d'azote.
— —	d'autres spirales d'acier Krupp.	0,0005	id.
— —	d'acier Wootz.	0,06	id.
— —	de fer doux.	0,0008	id.

Ainsi l'acier renfermerait un peu plus d'azote que le fer; mais en réalité les proportions deviennent tellement faibles qu'on ne peut être certain que l'azote soit partie intégrante de l'acier.

De plus, M. Bouis obtint, en dissolvant les aciers dans l'acide chlorhydrique ou dans l'iode, un résidu brun qui ne donna encore que de très-petites quantités d'azote; cette expérience toutefois ne serait pas complétement démonstrative, puisqu'une partie de l'azote restait dans les liqueurs à l'état d'ammoniaque, si, d'autres parts, M. Boussingault n'avait apprécié l'azote ainsi passé à l'état d'ammoniaque pendant la dissolution de l'acier dans les acides.

Il appartenait à ce savant, qui a si souvent dosé l'azote avec une merveilleuse précision, de le rechercher dans les fers et aciers; il procéda par plusieurs méthodes différentes : après avoir brûlé le fer par la vapeur d'eau, et avoir obtenu l'azote à l'état d'ammoniaque par l'action de l'hydrogène naissant sur les azotures de fer que le métal pouvait contenir, il abandonna ce procédé et résolut de brûler le fer dans de la vapeur de sulfure de mercure, de façon à décomposer les azotures et à recueillir l'azote gazeux.

Ce procédé, plus rigoureux, donna à M. Boussingault :

Dans 100 grammes	d'acier fondu.	0,057	d'azote.
— —	de fil de fer doux.	0,124	id.
— —	d'autre fer doux.	0,068	id.

Enfin M. Boussingault dosa plus tard l'azote contenu encore à l'état d'azoture dans les fers et aciers, en dissolvant ceux-ci dans un acide, saturant par de la chaux, puis faisant bouillir la dissolution de façon à éliminer l'ammoniaque volatile qui, recueillie dans de l'acide sulfurique titré, pouvait y être appréciée avec la plus grande exactitude; M. Boussingault trouva ainsi :

Dans 100 grammes	de fil de fer doux.	0,0075	d'azote.
— —	d'acier.	0,0070	id.

Tous ces dosages ne donnent pas la *totalité* de l'azote qui peut être contenu dans l'acier, il reste encore à apprécier celui qui se trouve dans le carbure qui reste comme résidu après l'action du sulfure de mercure ou de l'acide chlorhydrique, opération qu'a faite M. Bouis, ainsi que nous l'avons vu plus haut, et dans laquelle il n'a encore trouvé que des traces d'azote.

Toutefois ce sera seulement quand on aura ajouté aux dosages précédents une analyse précise des résidus bruns, que la question sera résolue; M. Frémy ne tardera probablement pas à faire cette recherche; ce sera seulement, nous le répétons, à ce moment qu'on pourra savoir si ses assertions sont fondées ou non.

L'analyse ne pouvant nous éclairer absolument, ayons recours à la synthèse. M. Caron montre à l'Académie des objets cémentés avec le gaz des marais, s'ensuit-il que l'azote n'est pas nécessaire à la cémentation? Pas absolument, car rien ne prouve que le fer sur lequel a agi M. le capitaine Caron ne fût pas azoté, et que le charbon qu'il lui a donné à l'aide du gaz des marais n'était pas la substance complémentaire nécessaire.

On remarquera, au reste, que, bien que M. Frémy pense que dans la plupart des cas l'acier soit un fer carbo-azoté, il n'affirme pas cependant qu'il n'existe pas d'aciers sans azote; la matière aciérante est pour lui complexe, et il peut exister plusieurs espèces d'acier dans lesquelles les éléments constitutifs peuvent être remplacés, en totalité ou en partie, par des corps qui ont entre eux de l'analogie.

La question, comme on le voit, est des plus complexes : A-t-on dirigé les recherches dans le sens qu'il fallait? Existe-t-il entre l'acier et le fer une différence réelle de composition chimique? Les matières étrangères au fer qui entrent dans l'acier ont-elles l'importance qu'on leur attribue? Les matières carbo-azotées qu'on fait agir sur le fer pour le transformer ont-elles réellement pour but de modifier la constitution de ce métal ou doivent-elles changer seulement, par contact, ses propriétés physiques? Le charbon employé dans la cémentation a-t-il tout simplement pour but d'empêcher l'oxydation pendant la température élevée à laquelle le métal est soumis? Tous les corps qui entrent dans l'acier, azote, silicium, charbon, iridium, soufre, sont-ils des impuretés inutiles? L'acier serait-il tout simplement du fer durcissant par la trempe, après calcination, comme le soufre chauffé au delà de 160°, change de

propriétés chimiques et devient mou quand on le trempe; en définitive, le fer et l'acier diffèrent-ils par la composition chimique, ou seulement par l'arrangement moléculaire?

Cette question pourrait être soulevée; l'affirmative défendue, nous n'insisterons pas pourtant, car on ne possède encore, sur ce sujet, aucune expérience démonstrative. Le contact de certains gaz ou de certaines dissolutions, une température élevée longtemps maintenue, sont cependant, il faut l'avouer, de puissants agents de transformation moléculaire; M. Bouis a fait voir que le cuivre, le fer, l'argent, soumis au rouge, à l'action de l'hydrogène pendant des heures, deviennent cassants, au point qu'on les pulvérise entre les doigts; M. Berthelot a montré que le soufre devient cristallisable par le contact de l'hydrogène sulfuré, et amorphe par celui de l'acide sulfureux; l'oxygène s'ozonise au contact du phosphore, pourquoi le fer ne pourrait-il acquérir la propriété de durcir par la trempe, après avoir été chauffé au contact du charbon?

Si l'acier est du charbon azoté et carboné, on a de la peine à comprendre, en réalité, comment certains fers doux renferment plus de charbon et plus d'azote que l'acier; nous n'essayerons pas toutefois de défendre systématiquement cette hypothèse; des essais entrepris dans ce sens seraient seuls capables de montrer si elle a quelques fondements.

Quoi qu'il en soit, on voit que nous sommes encore loin du but; on doit remercier cependant MM. Saunderson, Frémy, Caron, d'avoir soulevé cette question importante et délicate, et de l'avoir entraînée sur le véritable terrain scientifique[1].

Quant à la partie industrielle du problème, elle est également encore dans la période des recherches.

Il paraît démontré, cependant, par les expériences de M. Saunderson, de M. Caron et de M. Frémy, que les matières azotées et carbonées, agissant simultanément sur le fer, facilitent l'aciération; c'est ce que l'emploi connu depuis longtemps des cornes, des peaux, des *savates* dans la cémentation faisait présumer.

Sera-t-il possible de revenir, pour l'aciération, aux procédés de cémentation par les gaz de Mac Intosh, préconisés aujourd'hui

[1] Pendant les séances de l'hiver 1861, la Société des ingénieurs civils s'est occupée avec beaucoup de zèle de la question de l'acier. Nous regrettons de ne pouvoir que rappeler les expériences de M. Jullien, le Mémoire de M. Lasalle, les développements intéressants de M. Limet.

par M. Frémy? Le procédé de M. Caron, qui veut aciérer à l'aide du cyanure de baryum, pourra-t-il remplacer les méthodes empiriques? C'est ce que nous ne savons encore.

Enfin M. Frémy pourra-t-il isoler à l'état de pureté la matière aciérante, s'il en existe une, renfermant, outre le charbon, un des corps simples qui, d'après lui, doit s'y ajouter? pourra-t-on faire de l'acier avec du charbon et du phosphore, avec du charbon et du titane? est-il vrai que, pour rendre les fers français capables de s'aciérer aussi bien que les fers de Danemora, il suffit de les purifier? arriverons-nous enfin à définir ce qu'est la propension aciéreuse? Nous l'espérons. La question est soulevée, les chimistes doivent s'y acharner jusqu'à ce qu'elle soit résolue.

P. P. Dehérain.

III

LE PLATINE

TRAITEMENT DES MINERAIS DE PLATINE PAR VOIE SÈCHE. — FABRICATION ÉCONOMIQUE DE L'OXYGÈNE.

MM. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE ET H. DEBRAY.

L'or et l'argent sont depuis un temps immémorial consacrés aux échanges ou employés comme matière première par les joailliers; le rôle du platine, le troisième métal précieux, est plus modeste; son véritable domaine est le laboratoire du chimiste.

Bien que les instruments en verre soient surtout employés dans les opérations chimiques, il est certains cas cependant dans lesquels on ne peut y avoir recours. Quand la température s'élève, le verre fond et doit être abandonné; les vases de terre, de porcelaine, résistent mieux aux températures élevées, mais ils s'attaquent parfois par les réactifs qu'ils doivent contenir; ils peuvent leur céder quelques-uns de leurs éléments, et dans les recherches déli-

cates leur usage doit encore être proscrit; il faut donc avoir recours aux métaux.

Parmi eux, l'or et le platine sont particulièrement utiles; ils sont en effet beaucoup moins attaquables que le fer, le cuivre ou l'argent par toutes les matières corrosives qu'emploie le chimiste, et moins fusibles que les deux derniers. Le platine, résistant mieux encore que l'or aux températures élevées, étant aussi d'un prix inférieur, est enfin préféré.

Jusqu'à ces derniers temps, le platine était considéré comme presque infusible, et sa résistance aux températures très-élevées avait dirigé sa métallurgie dans une voie tout à fait différente de celles qu'on suit habituellement; c'était à l'aide d'une véritable opération chimique, difficile à bien conduire, qu'on extrayait le platine de ses minerais. Les manipulations très-délicates, très-longues, très-minutieuses auxquelles on devait se livrer augmentaient beaucoup le prix du platine; il n'en est plus ainsi aujourd'hui. Grâce aux belles recherches de MM. H. Sainte-Claire Deville et H. Debray, les minerais peuvent être traités par voie sèche, et on obtient à meilleur compte un métal plus pur, plus facile à travailler que celui qu'on avait produit jusqu'à présent.

C'est le résumé des anciennes méthodes et l'exposé des procédés nouveaux que nous allons présenter au lecteur.

I

Le platine (*platina*, petit argent, de l'espagnol *plata*, argent) n'a été introduit d'Amérique en Europe que vers 1740, par l'Américain Wood; ce métal, connu depuis longtemps en Amérique, n'y était employé à aucun usage; c'est seulement au commencement de ce siècle qu'un orfévre de Paris, nommé Janetti, commença de retirer ce métal de ses minerais.

Plus tard, grâce au chimiste anglais Wollaston, les usages du platine allèrent en croissant rapidement; il fut recherché avec soin, et ses mines exploitées régulièrement.

Ce fut d'abord à la Nouvelle-Grenade et au Brésil qu'on découvrit des gisements de platine, mais aujourd'hui les plus riches paraissent être ceux des monts Ourals; on exploite encore des mines de ce métal en Californie, en Australie et dans l'île de Bornéo.

Le platine est associé dans ses minerais avec plusieurs autres métaux qui ont avec lui de grandes analogies; tels sont l'iridium, le rhodium et le palladium; ces minerais renferment toujours aussi une certaine quantité d'osmium de fer et de cuivre.

D'après le procédé indiqué par Wollaston pour extraire le platine, on traite ces mélanges métalliques par l'eau régale, c'est-à-dire par un mélange d'acide azotique et d'acide chlorhydrique, qui a la propriété de dissoudre presque tous les métaux mélangés dans la mine de platine, à l'exception toutefois de l'iridium, beaucoup moins attaquable.

A la Monnaie de Russie, on tamise le minerai, on pulvérise celui qui n'a pas passé à travers le tamis, puis on le traite dans de grandes capsules de porcelaine par l'eau régale, en ayant soin de diriger les fumées hors de l'atelier, car il se dégage pendant les opérations des vapeurs d'acide osmique très-dangereuses à respirer.

On continue le traitement par l'eau régale jusqu'à ce que le mélange acide ne dissolve plus rien, puis on traite le chlorure de platine ou acide chloro-platinique produit par une chlorobase capable de le précipiter; on emploie tantôt le chlorure de calcium, tantôt le chlorure d'ammonium; il se forme un chloroplatinate peu soluble, connu dans le commerce sous le nom de jaune de platine.

Calcinée, cette masse laisse un résidu gris, qu'on lave pour enlever le chlorure de calcium; cette dernière précaution est inutile si on a employé le chlorure d'ammonium à la précipitation, car ce sel est très-volatil et disparaît pendant la calcination.

Le platine séparé par la chaleur de sa combinaison avec le chlore, isolé sous forme d'une masse grise poreuse, a reçu le nom de mousse de platine; il possède dans cet état quelques propriétés très-curieuses encore inexpliquées, bien qu'elles aient excité au plus haut degré l'attention des chimistes.

Si on fait dégager sur de la mousse de platine un jet d'hydrogène, on voit tout à coup le métal devenir incandescent et l'hydrogène s'enflammer... que se passe-t-il dans ces circonstances? personne ne le sait; le platine après l'opération n'a pas changé de poids, il n'a contracté aucune combinaison; il semble agir seulement par sa *présence*, exciter la réaction sans y prendre part. A-t-il la propriété de condenser dans ses pores les molécules d'hydrogène, de les concentrer jusqu'au moment où les affinités de ce

gaz combustible pour l'oxygène comburant sont assez vives pour déterminer la combinaison : cela est probable sans être certain.

On a inventé, il y a quelques années, un petit appareil connu sous le nom de briquet à hydrogène, qui était basé sur cette propriété qu'a la mousse de platine de déterminer l'inflammation de l'hydrogène.

On pouvait faire agir à volonté de l'eau acidulée sur un morceau de zinc, l'hydrogène produit se dégageait sur de la mousse de platine, s'enflammait et allumait une petite bougie, une petite lampe, qu'une crémaillère avait amenée sur le parcours du gaz enflammé.

Les propriétés curieuses de la mousse de platine furent même mises à profit pour déterminer l'union du gaz sulfureux et de l'oxygène, de façon à produire industriellement l'acide sulfurique anhydre; mais il s'est trouvé que la mousse de platine perdait rapidement sa curieuse propriété de favoriser les combinaisons, qu'il fallait la soumettre à un traitement coûteux pour les lui rendre, et l'opération fut abandonnée.

Quand la mousse de platine a été obtenue par la calcination du chloro-platinate, il faut la réduire en poussière avec les mains, la délayer dans l'eau de façon à enlever toutes les matières étrangères, et la faire passer au travers d'un tamis; c'est à cette opération que l'ouvrier doit apporter le plus de soin, car, si la masse métallique délayée dans l'eau n'est pas pure, il y a fort à craindre que le métal ne soit pas lui-même de bonne qualité.

La *boue de platine* ainsi préparée est introduite dans un cylindre de laiton de forme légèrement conique, qui est fermé à sa partie inférieure par un bouchon d'acier; on comprime alors lentement la poussière métallique au moyen d'un piston de bois qui est remplacé ensuite par un piston métallique : l'eau se sépare du platine, qui devient de plus en plus cohérent; on le comprime ensuite au moyen d'une forte presse.

Quand la pression a été poussée aussi loin que possible, on ôte le bouchon, on enlève la masse de platine, qui a pris beaucoup de densité. On la chauffe peu à peu jusqu'au rouge blanc dans un creuset de terre, et on la porte sur une enclume où on la frappe légèrement avec un lourd marteau. On la fait rougir de nouveau et enfin on la forge.

On voit quelle complication présente ce procédé; le traitement

par l'eau régale est très-dispendieux, le lavage de la mousse de platine exige les plus grands soins, enfin le forgeage du platine est une opération encore délicate; on comprend enfin que tous les objets de platine, étant toujours fabriqués au marteau, soient d'un prix beaucoup plus élevé que s'ils étaient obtenus par simple fusion.

A tous ces inconvénients vient s'en ajouter un très-grand, c'est que le platine forgé est très-poreux, et qu'il n'est pas possible de l'employer en feuilles minces au *placage* sur un autre métal; si l'on veut faire usage d'un vase ainsi fabriqué pour y traiter certaines matières par l'acide azotique, ce liquide passe au travers des pores du platine pour aller attaquer le métal sous-jacent.

II

Tels étaient les procédés d'extraction et de travail du platine, quand M. Henri Sainte-Claire Deville, à qui on doit tant d'ingénieux travaux de chimie métallurgique [1], s'associa à l'un de ses élèves, M. Henri Debray, pour doter l'industrie du platine d'une méthode plus rationnelle et fondée entièrement sur l'emploi du feu.

Le travail des deux chimistes de l'École normale n'est pas, au reste, seulement industriel; ils ont étudié avec beaucoup de soins tous les métaux qui accompagnent habituellement le platine, et ont reconnu très-nettement qu'ils se doivent partager en deux classes distinctes, malgré les grandes analogies qu'ils présentent entre eux.

Trois des six métaux *platiniques*, si on peut s'exprimer ainsi, sont assez légers; ce sont le ruthénium, dont la densité est 11.3, le rhodium, pour lequel la densité est 12.1, et enfin le palladium, dont la densité est 11.8; 53 est l'équivalent commun de ces trois corps.

L'osmium avec l'iridium et le platine forment le second groupe, dont l'équivalent commun est 98.5, et dont la densité est 21.4 pour le premier, qui devient ainsi le plus lourd des corps connus, 21.1 pour les deux autres.

Tous ces métaux ne fondent qu'à une température très-élevée;

[1] Voir la *Chimie pure*, page 90.

le palladium est le plus fusible et l'osmium l'est le moins; le platine se trouve le second, immédiatement après le palladium.

MM. Deville et Debray emploient deux méthodes différentes pour arriver à séparer le platine de son minerai et pour l'avoir pur ou allié à l'iridium, qui lui communique quelques propriétés précieuses.

Le premier procédé, dit par coupellation, est très-analogue à celui qu'on pratique dans les usines à plomb pour isoler l'argent que le premier renferme toujours, le second procédé, plus simple encore, procède par une fonte directe.

Si on chauffe dans un four à réverbère de la galène ou sulfure de plomb, en y faisant arriver un courant d'air, si on grille ce minerai, le soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux, tandis que l'oxygène de l'air, se combinant au plomb, forme de la litharge; si on continue à chauffer, l'oxyde de plomb réagit sur le sulfure, l'oxygène de l'oxyde se combine avec le soufre du sulfure, et du plomb métallique se sépare; tel est le principe du procédé de traitement des minerais de plomb dans certaines usines où l'on fond des minerais peu siliceux; l'usine de Pontgibaud, en Auvergne, ne procède pas autrement. — Dans d'autres localités, en Allemagne, notamment à Frankensharn, près de Clausthal, à Altenau, dans le Hartz, à Frieberg, en Saxe, on fond la galène au contact de scories, de matières siliceuses, avec du fer, et le fer réduit le plomb en se combinant au soufre, de la même manière que dans une dissolution de cuivre, ce métal se précipite sur le fer qu'on y ajoute, de la même façon encore que le zinc déplace le plomb d'une dissolution aqueuse, pour donner ces houppes, ces dentelures métalliques connues dans les laboratoires sous le nom d'arbre de Saturne.

Dans le nouveau traitement des minerais de platine, on utilise ces deux réactions; dans un petit four à reverbère, on charge le minerai mélangé à de la galène; le plomb, réduit par le fer du minerai ou par la réaction de la litharge sur le sulfure, attaque vivement le platine, s'allie avec lui et lui communique sa fusibilité.

Le platine combiné au plomb forme un alliage qu'on expose pendant un certain temps à l'action de la chaleur et de l'oxygène dans le four à réverbère, une partie importante du plomb, d'abord combiné au platine, se brûle, passe à l'état de litharge et s'écoule en dehors du fourneau exactement de la même façon que dans la coupellation pour argent.

A mesure que la coupellation avance, que le plomb s'oxyde, la fusibilité de l'alliage diminue; quand on s'aperçoit que la viscosité augmente, on arrête le vent qui oxydait le plomb, on donne un bon coup de feu, pour rendre momentanément au métal sa fluidité, on puise l'alliage avec une cuiller dans le fourneau, et on le coule en lingotière.

Cet alliage renferme un peu plus de 1/5e de plomb et 4/5es de platine, il est encore trop riche en plomb pour être coupellé directement de façon à isoler le platine, et les auteurs commencent par le *rôtir* dans un four spécial; le plomb, chauffé de nouveau dans une flamme très-oxydante, se brûle, de la litharge se produit encore, et il reste comme résidu de l'opération des petits choux-fleurs de platine, ne retenant plus assez de plomb pour fondre sous la température élevée mais non excessive à laquelle ils sont soumis.

Il ne reste plus maintenant qu'une dernière opération à faire, c'est la fusion du platine dans un four en chaux.

Cette opération, jugée impossible pendant si longtemps, ne peut être exécutée qu'au moyen de la flamme si chaude qu'on obtient par la combinaison de l'oxygène pur avec le gaz de l'éclairage ou mieux l'hydrogène; les deux gaz, qui détonent violemment quand une flamme atteint leur mélange, arrivent séparés dans des tubes à l'extrémité desquels ils doivent brûler; des tubes de caoutchouc permettent de manier facilement le *chalumeau* dont la flamme puissante étreint le platine et ne tarde pas à le fondre complétement. On laisse, au commencement de l'opération, l'oxygène dominer de façon que le plomb puisse être chassé; il s'oxyde rapidement, et la litharge produite se volatilise.

Sous l'influence de cette chaleur excessive, la chaux devient incandescente, elle brille comme une lumière électrique, les métaux encore mélangés au platine se brûlent et se volatilisent rapidement, les flammes vertes qui sortent du four indiquent que le cuivre et l'osmium sont volatilisés; quand les flammes cessent d'être colorées, le platine est affiné, il ne reste plus qu'à le couler.

A l'une des séances publiques de la Société chimique, en 1861, M. H. Debray a exécuté cette belle opération avec une grande facilité; le platine a été fondu devant trois cents spectateurs attentifs, qui ont manifesté par leurs applaudissements combien ils appréciaient l'habilité des opérateurs qui avaient su vaincre tant de dif-

ficultés pour arriver à ce résultat, qu'on avait pendant si longtemps désespéré d'atteindre.

On ne savait ce qu'il fallait le plus admirer ou de la fusion du platine, ou de la disposition si élégante, si ingénieuse des appareils, qui permettait d'organiser cette belle expérience en quelques heures, au milieu d'une salle de séances non destinée à cet usage.

On se figure volontiers, quand il s'agit de produire de hautes températures, d'immenses fourneaux, des montagnes de charbon, des soufflets gigantesques ; rien de tout cela dans l'appareil de MM. Deville et Debray ; un tout petit four en chaux de 4 à 5 décimètres, un tube, des gazomètres d'une centaine de litres, et tout est dit.

Quand le platine est destiné à des usages industriels, il y a grand avantage à ne pas le produire pur, mais à l'avoir au contraire allié à l'iridium que renferment les minerais ; l'alliage est en effet bien plus inattaquable par les agents chimiques que le métal pur, et il convient parfaitement à tous les usages des laboratoires ; pour en donner une idée, nous rappellerons que l'eau régale peut dissoudre un fort fragment de platine dans une capsule d'alliage d'iridium et de platine, sans que celle-ci soit altérée.

Le traitement des minerais de platine pour obtenir cet alliage est encore plus simple que le précédent : on mélange grossièrement le minerai de platine en grains avec des morceaux de chaux vive, et on le verse dans un petit four en chaux déjà échauffé, puis on y fait arriver la puissante flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène. « Le minerai entre bientôt en fusion, et, s'il a été mis en tas conique juste au-dessous du dard du chalumeau, on le voit se réduire en une ou plusieurs petites masses à la surface de laquelle se produisent une oxydation très-vive et une scorification très-rapide. Le fer et le cuivre brûlent....; la flamme qui sort de l'appareil, et qu'il faut diriger dans une cheminée d'un bon tirage, se colore fortement par suite de la présence de l'osmium et des métaux volatils que contient le minerai. — On continue la fusion jusqu'à ce que l'odeur de l'osmium ait presque complétement disparu.... »

Le platine ainsi obtenu n'est pas très-pur, il renferme encore des traces d'osmium, de fer et de cuivre, et il y a avantage à le grenailler, c'est-à-dire à le verser dans de l'eau froide où il se pulvérise par suite de son brusque refroidissement.

Cette opération, qui se fait très-facilement, aussi facilement que s'il s'agissait d'argent, est accompagnée d'un résultat fort curieux ; l'eau est décomposée, ses éléments se dissocient sous l'influence de la température extrêmement élevée qui est produite. On voit quels effets nouveaux produisent ces températures excessives ; l'eau, qui jusqu'à présent était restée indécomposable par la chaleur seule, peut cependant se résoudre en oxygène et en hydrogène au contact de ce platine extraordinairement chauffé.

Le platine grenaillé est fondu, affiné au contact de la chaux vive des parois du four et ensuite coulé et moulé.

Si la température doit être extrêmement élevée dans les fours en chaux vive de MM. Deville et Debray, quand ils doivent fondre et affiner le platine, elle doit l'être encore davantage quand ils veulent fondre l'iridium pur ; là le gaz d'éclairage est impuissant, l'hydrogène pur alimenté par l'oxygène est nécessaire.

La température est tellement élevée dans cette opération, que la chaux des fournaux acquiert aux endroits les plus violemment chauffés une compacité telle qu'on ne peut méconnaître un commencement de fusion.

« C'est, disent les auteurs au moment où ils décrivent la fusion de l'iridium, le plus beau spectacle qu'on puisse voir que ce ruisseau de feu tellement ardent, que, pour l'opérateur le plus exercé, il y a une impossibilité presque complète de distinguer en même temps le métal et la lingotière. » La disposition des appareils enlève tout danger à des opérations, auxquelles, d'ailleurs, on n'assiste pas pour la première fois sans éprouver des appréhensions peu fondées, il est vrai, mais bien naturelles, à la vue de ces masses éblouissantes. « Nous devons dire que nous-mêmes, » ajoutent les chimistes de l'École normale, « et les personnes nombreuses qui nous ont aidés, nous n'avons jamais subi le moindre accident, ni couru le moindre danger, après avoir fondu et coulé depuis plusieurs années, dans un grand nombre de circonstances diverses, des quantités de platine ou d'iridium dont la somme dépasse certainement 200 kilogrammes. »

Personne n'avait, jusqu'à présent, manié le feu avec cette habileté et cette puissance.... et en réalité on ne peut se lasser d'admirer avec quelle facilité on peut obtenir ces effets surprenants.

— Ce n'est pas, au reste, en un seul jour que M. H. Deville est arrivé à produire ces hautes températures : il a longtemps étudié la forme des foyers et des vases qu'il devait employer, et déjà, en 1856, il publiait un premier mémoire sur ce sujet.

Le platine peut être coulé dans des lingotières en fer enduites de plombagine; mais ce qui vaut mieux encore, c'est de le mouler dans des lingotières en chaux, quand il doit être ensuite laminé.

On peut aussi mouler le platine dans le sable des mouleurs, de façon à produire du premier coup des pièces de platine même assez chargées de détails, comme on le fait pour la fonte, le fer et le cuivre. — MM. Deville et Debray ont, en effet, moulé une roue dentée de platine, qui, après avoir été présentée à l'Académie des sciences, a été envoyée à Saint-Pétersbourg comme spécimen des nouveaux procédés.

Il est donc aujourd'hui parfaitement démontré qu'on pourra, sans difficulté et avec une économie considérable, produire des lingots de platine d'un poids quelconque, et mouler le platine sous les formes les plus compliquées. Comme ceux de tous les autres métaux, les minerais de platine seront traités par voie sèche.

III

Une question se présente cependant. Nous avons insisté, depuis le commencement de cet article, sur la nécessité de brûler le gaz de l'éclairage ou l'hydrogène pur au moyen du gaz oxygène; mais ce gaz est coûteux jusqu'à présent, comment MM. Deville et Debray lèvent-ils cette dernière difficulté ?

Ces chimistes ont successivement passé en revue les principaux procédés à l'aide desquels on peut obtenir l'oxygène économiquement.

Leur attention s'est d'abord portée sur le peroxyde de manganèse; ils ont essayé successivement plusieurs variétés de cette substance, et ils ont trouvé des rendements extrêmement variables, tandis qu'un kilogramme d'un échantillon de Romanèche ne donnait que 34 litres d'oxygène, un échantillon provenant du Piémont en donnait 60 ; l'oxygène, au reste, n'était jamais bien pur : il renfermait de 4 à 6 pour cent d'azote.

La décomposition de l'oxyde se faisait dans de grandes bouteilles

en fonte placées elles-mêmes dans des manchons de terre et chauffées à la partie postérieure du four, dans lequel se faisait la coupellation du platine. Le gaz qui se dégageait au commencement de l'expérience était très-impur, il ne renfermait guère que de l'azote; lorsqu'il rallumait vivement une bougie ne présentant qu'un point en ignition, on mettait les appareils en communication avec un gazomètre, et on continuait tant que les bouteilles dégageaient du gaz. — MM. Deville et Debray estiment que des bouteilles en fonte bien fabriquées pourraient durer plus d'une année; par ce procédé un mètre cube d'oxygène varie de 3 fr. 45 à 5 fr. 98; c'est le manganèse italien qui donne l'oxygène le plus cher, et un échantillon d'Espagne qui le produit au meilleur marché.

Comme l'oxyde rouge de manganèse qui reste dans les bouteilles a une valeur plus grande que l'oxyde noir pour certaines industries, il en résulte qu'il peut y avoir intérêt à employer ce procédé, si l'on se trouvait à proximité d'une verrerie, d'une aciérie ou d'une usine où le manganèse fût employé dans des opérations de voie sèche.

Il n'y a pas à songer à obtenir l'oxygène à bon marché en employant le chlorate de potasse; en effet, ce chlorate de potasse se fabrique toujours à l'aide du chlore, obtenu lui-même par l'action de l'acide chlorhydrique sur le manganèse; il y a donc évidemment intérêt à employer celui-ci directement à la fabrication de l'oxygène.

On se rappelle qu'il y a quelques années M. Boussingault avait proposé un procédé très-ingénieux pour tirer l'oxygène pur de l'air atmosphérique; ce savant avait essayé de régulariser l'absorption d'oxygène par la baryte au rouge sombre, puis la décomposition du bioxyde de baryum formé, par l'élévation de la température, jusqu'au rouge cerise. — On avait espéré que la baryte se conduirait comme une véritable éponge à oxygène, s'en gonflant d'abord, le soutirant de l'air atmosphérique, pour le rendre plus tard, pur et exempt d'azote, sous la pression d'une chaleur considérable.

On éprouva cependant quelques difficultés à manier ce procédé; il se trouve qu'après avoir servi pendant quelque temps, la baryte se lasse d'absorber l'oxygène, elle en prend de moins en moins, même si on emploie de l'air humide comme l'a conseillé M. Bous-

singault, et il faut revivifier la baryte au moyen de l'acide azotique ; ce qui présente toujours quelques difficultés.

Au reste, MM. Deville et Debray sont arrivés à produire l'oxygène à un prix des plus minimes, en décomposant par la chaleur une des substances les plus communes dans l'industrie, l'acide sulfurique.

Au rouge naissant, ce liquide se décompose en oxygène et en acide sulfureux ; l'appareil nécessaire pour déterminer cette décomposition est des plus simples : l'acide tombe goutte à goutte dans une cornue dont l'intérieur renferme des lames minces de platine ; l'acide se décompose sous l'influence de la température rouge à laquelle est soumise la cornue, et un mélange d'acide sulfureux et d'oxygène distille ; si on fait passer ce mélange au travers d'un serpentin refroidi pour condenser l'eau et l'acide sulfurique entraînés, puis, que les gaz passent au travers d'un flacon traversé par un courant d'eau, on obtiendra en définitive de l'oxygène parfaitement pur.

Immédiatement se présente cette grande question : combien coûte-t-il ? En supposant qu'un kilogramme d'acide ordinaire des chambres de plomb donne 7 mètres cubes de gaz, en portant à 7 ou 8 kilogrammes de coke ou de houille la quantité de combustible dépensé par mètre cube, on aura un maximum qui ne fera jamais monter le prix du mètre cube d'oxygène à 1 fr., y compris la main-d'œuvre.

On suppose, à ce prix, l'acide sulfureux perdu ; mais, s'il était utilisé à la fabrication des hyposulfites, ou que la fabrication de l'oxygène fût adjointe à celle de l'acide sulfurique, le prix diminuerait encore considérablement, car on pourrait lancer dans les chambres de plomb l'eau chargée d'acide sulfureux, et le transformer rapidement de nouveau en acide sulfurique à l'aide d'une faible dépense d'acide azotique.

« Nous avons calculé, disent MM. Deville et Debray, qu'il suffirait de brûler, dans le four à soufre d'un appareil à acide sulfurique, le double de soufre que renferme la dissolution concentrée d'acide sulfureux pour pouvoir utiliser entièrement ce dernier gaz, de sorte qu'une fabrique pourrait, sans augmenter sensiblement sa dépense, consacrer le tiers de l'acide sulfurique qu'elle produit à la préparation de l'oxygène.

« Quant au prix de revient calculé sur ces bases, il est tellement

faible, que nous n'osons en donner le chiffre approximatif. En effet, on n'a plus à compter dans ce prix que la valeur de petites quantités de charbon nécessaires pour maintenir au rouge un appareil de faible dimension, et le nitrate de soude servant à fixer sur l'acide sulfureux l'oxygène de l'air. Car ce procédé consiste au fond à emprunter par voie indirecte l'oxygène à l'air atmosphérique. »

Nous avons vu que pour fondre l'iridium il fallait brûler de l'hydrogène. Les chimistes de l'École normale ont préparé celui qui leur était nécessaire en faisant passer de la vapeur d'eau sur du charbon; on obtient alors un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone qui convient très-bien pour produire de hautes températures; si l'appareil qui renferme le charbon était, au reste, maintenu à une faible chaleur, le mélange gazeux ne renfermerait guère que de l'hydrogène et de l'acide carbonique, et l'on aurait enfin de l'hydrogène pur en absorbant l'acide carbonique par la chaux.

Les nouveaux procédés employés pour la métallurgie du platine sont certes très-élégants; ils donneront, nous n'en doutons pas, un métal plus pur, plus malléable, plus facile à travailler que celui qu'on obtenait autrefois. Là n'est pas peut-être, cependant, le point capital des beaux travaux que nous venons d'analyser; la découverte importante, saillante, c'est la production de l'oxygène à très-bas prix.

Comment on l'utilisera? Nous ne le savons pas encore; mais, vite ou lentement, cette découverte modifiera profondément de nombreuses industries; tous ceux qui ont vu la puissance des flammes alimentées par l'oxygène penseront ainsi!... Qui nous dit, par exemple, qu'au lieu de rassembler péniblement les morceaux de fer par le puddlage, puis d'essayer de les souder grossièrement en les martelant, en les corroyant à plusieurs reprises, il ne sera pas bien plus simple de les fondre? — Qui nous dit que nous n'aurons pas bientôt du fer fondu, flexible, malléable, non cassant, présentant une énorme ténacité en même temps que la douceur du plomb?

Qui nous dit qu'au lieu de lancer dans un fourneau de 15 mètres un gaz renfermant 4/5es de son volume d'un corps inerte, on ne fondra pas en quelques instants les minerais les plus réfractaires dans de petits fourneaux où arrivera l'oxygène?

Qui nous dit qu'à côté de nos becs de gaz ne viendront pas

s'ajuster des tubes amenant l'oxygène et donnant tout à coup au gaz de la houille un éclat incomparablement plus grand que celui qu'il possède aujourd'hui, qu'à côté d'une usine à gaz nous ne verrons pas bientôt s'élever une usine à oxygène; de sorte que le gaz comburant et le gaz combustible chemineront côte à côte jusqu'à l'orifice où ils doivent se combiner en produisant une lumière éclatante?

MM. Rousseau, les habiles fabricants de produits chimiques, vendent déjà de l'oxygène comprimé en sac; le prix énoncé de ce gaz va baisser, une foule d'applications deviennent possibles.

Quand on est maître du feu, on est bien puissant; aussi on ne saurait trop savoir gré à MM. Deville et Debray d'avoir si bien utilisé une réaction connue depuis longtemps, mais inutile jusqu'à présent, d'en avoir tiré un procédé très-simple, très-commode, capable de nous donner l'oxygène à très-bas prix.

P. P. Dehérain.

IV

PRODUCTION ARTIFICIELLE DU FROID

APPAREIL DE M. CARRÉ

Nous avons insisté, dans l'article précédent, sur les méthodes à l'aide desquelles on peut obtenir des dégagements de chaleur considérable. M. Carré nous permet d'aborder un problème précisément inverse, produire du froid, ou, plus exactement, soustraire de la chaleur.

On emploie actuellement, dans l'économie domestique, des appareils basés sur l'absorption de chaleur qui a lieu quand un corps solide se liquéfie; tout le monde sait, en effet, que le *changement d'état* d'un corps a lieu par l'absorption ou le dégagement d'une certaine quantité de chaleur.

Quand un solide se liquéfie, ou qu'un liquide prend l'état aéri-

forme, il faut qu'il absorbe de la chaleur; il peut la prendre aux corps au milieu desquels il est plongé, il peut la prendre à l'eau, notamment, si la substance à liquéfier est placée dans un vase plongé dans ce liquide.

C'est sur ce principe que sont basés les appareils dits *glacières des familles :* on employait autrefois le sulfate de soude, qu'on dissolvait dans l'acide chlorhydrique ; un vase de fer-blanc renfermait ce mélange, au centre se trouvait un cylindre rempli d'eau ; on l'agitait au sein du liquide, le sulfate de soude se liquéfiait dans l'acide chlorhydrique et absorbait assez de chaleur à l'eau pour la congeler.

Les taches que font sur les vêtements l'acide chlorhydrique, les vapeurs qu'il émet, la nécessité où l'on était de se procurer des quantités assez notables de matières, puisqu'elles ne pouvaient servir qu'une fois, a fait mettre à profit, plus tard, la propriété qu'a l'azotate d'ammoniaque de refroidir considérablement le liquide dans lequel il se dissout; et ce sel est aujourd'hui encore employé avec assez de succès.

M. Carré toutefois a renoncé à utiliser le froid produit par la liquéfaction, il a préféré avoir recours à l'absorption de chaleur qui a lieu pendant la vaporisation. Il en revenait ainsi au système utilisé depuis un temps immémorial dans les pays chauds. Tout le monde connaît ces vases de terre poreuse, connus sous le nom d'*alcarazas*, qui laissent suinter continuellement une petite quantité d'eau; celle-ci se vaporise, emprunte de la chaleur au reste de la masse liquide et peut abaisser sa température de quelques degrés.

Si, au lieu de faire vaporiser un liquide peu volatil comme l'eau, on détermine l'évaporation d'une substance gazeuse à la température ordinaire et liquéfiée seulement par une pression considérable, il est certain qu'on pourra obtenir des effets beaucoup plus énergiques; c'est ce principe, déjà signalé par M. V. Regnault, que M. Carré a utilisé de la façon la plus heureuse.

Chacun sait que le gaz ammoniac est très-soluble dans l'eau froide, mais que l'ébullition détruit complétement cette dissolution; chacun sait encore que ce gaz ammoniac, soumis à une forte pression, peut se liquéfier. On comprend bien que cette liquéfaction n'est plus une dissolution, c'est un changement d'état du gaz ammoniac lui-même, dont les molécules, rapprochées violemment, finissent par se souder à l'état liquide.

Prenons donc deux vases métalliques, et faisons-les communiquer par un tube; dans l'un, plaçons une dissolution concentrée d'ammoniaque, que l'autre soit vide; enlevons même tout l'air qui se trouve dans l'appareil au moyen d'une pompe pneumatique; puis chauffons le vase renfermant la dissolution ammoniacale.

L'eau s'échauffe, la solubilité du gaz diminue, il se dégage, la pression augmente dans tout le système, par suite des torrents de gaz qui sont ainsi violemment expulsés de l'eau; cette pression augmente encore, elle arrive à un point où les molécules gazeuses sont assez rapprochées pour se souder, le gaz se liquéfie dans le vase vide au commencement de l'opération.

Que reste-t-il à faire maintenant? à entourer ce vase renfermant l'ammoniaque liquide de l'eau que l'on veut congeler, et à retirer le feu qui échauffait primitivement la dissolution, à refroidir même celle-ci; elle se refroidit, le gaz ammoniac peut alors se redissoudre, les portions voisines de l'eau disparaissent dans le liquide, la pression diminue, l'ammoniaque liquide se volatilise pour retourner se dissoudre; mais, pour que cette volatilisation ait lieu, il faut forcément que ce liquide absorbe de la chaleur : il l'absorbe en effet à l'eau voisine, qui est bientôt assez refroidie pour se congeler, et cette congélation se continue tant qu'il reste à volatiliser quelques portions du liquide ammoniacal.

On remarquera que, l'opération terminée, tout se trouve exactement dans les mêmes circonstances qu'auparavant, de sorte que l'opération peut être refaite indéfiniment.

M. Carré a même modifié son appareil de façon à rendre l'opétion continue.

Est-ce simplement un problème scientifique qu'a résolu M. Carré? Non pas. Ce n'est pas non plus, à notre avis, un appareil de ménage qu'il a inventé, car, malgré la facilité des manipulations, je n'oserais guère confier l'opération à une servante. C'est plus que céla qu'a fait M. Carré : il a créé un appareil industriel, capable de refroidir économiquement même de grandes masses de liquide, et si, comme on l'espère, l'appareil peut être employé au traitement des eaux mères des salines de la Méditerranée, l'appareil de M. Carré pourrait amener une véritable révolution industrielle.

Tout le monde connaît l'importance du sel connu dans le commerce sous le nom de cristaux de soude; outre son emploi dans le

blanchissage ordinaire, il est utilisé à la fabrication des savons, à celle du verre, c'est un produit d'une énorme importance.

Pour le fabriquer, il faut traiter d'abord le sel marin par l'acide sulfurique, de façon à obtenir du sulfate de soude; et ce sulfate de soude est lui-même chauffé dans de grands fours à réverbère avec de la craie et du charbon. Par une méthode due à l'infortuné Nicolas Leblanc[1], on obtient le carbonate de soude; mais le soufre du sulfate est engagé dans une combinaison d'où on ne sait pas l'extraire, combinaison complétement inutile au reste, de sorte que le prix du carbonate de soude se trouve surélevé de celui du soufre acheté en Sicile, et perdu, et en plus de toutes les manipulations nécessaires pour transformer le sel marin en sulfate de soude.

Or il existe dans les eaux de la mer, outre le sel marin, des masses considérables de sulfate de magnésie qui, mélangé au chlorure de sodium, peut, dans certaines circonstances de température, produire du sulfate de soude.

Les eaux mères des marais salants sont ainsi un réservoir inépuisable de sulfate de soude, si on peut les traiter convenablement; depuis de longues années, M. Balard s'est voué à l'étude de ces eaux mères, et il est déjà arrivé à des résulats remarquables. Il est malheureusement une circonstance dont on ne dispose pas, c'est la température, et c'est elle cependant qui peut déterminer la cristallisation du sulfate de soude; or on comprend qu'avec l'appareil de M. Carré, construit sur des dimensions considérables, on puisse arriver à refroidir convenablement ces eaux mères amenées successivement autour de gros cylindres renfermant l'ammoniaque liquéfiée et se gazéfiant peu à peu.

Nous ne savons si cette opération a reçu un commencement d'exécution; cela est probable toutefois, car M. Carré a immédiatement signalé cet emploi possible de son nouveau procédé de réfrigération, dans le mémoire qu'il a adressé, au commencement de 1861, à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

[1] On a mis sur le palais de l'Industrie, aux Champs-Élysées, dans la suite des noms des inventeurs célèbres, *F. Leblanc*. C'est évidemment une erreur regrettable; l'auteur du procédé de préparation de la soude artificielle, né à Issoudun, en 1753, s'appelait Jacques-Nicolas Leblanc.

P. P. Dehérain.

AGRICULTURE

I

LA TERRE ARABLE

« Le fondement de l'agriculture est la connaissance du naturel des terroirs que nous voulons cultiver, soit que nous les possédions de nos ancêtres, soit que les ayons acquis, afin que par cette adresse puissions manier la terre avec artifice requis et, employant à propos argent et peine, recueillir le fruit du bon mesnage que tant nous souhaitons, c'est-à-dire contentement avec modéré profit et honnête plaisir. »

Olivier de Serres, *Théâtre d'agriculture.*

I

Formation de la terre arable. — Désagrégation et décomposition des roches cristallines sous l'influence des eaux, sous celle de l'acide carbonique. — Ébelmen. — M. Daubrée. — Sable. — Argile. — Humus.

S'il est une science capable de montrer la puissance de l'induction, c'est, à coup sûr, la géologie ; observant ce qui est, elle en conclut ce qui a été ; des conditions d'existence du monde actuel elle déduit celles des mondes disparus. — Le géologue parcourt le globe terrestre, observe, compare la structure des contrées qu'il visite ; une éruption volcanique est-elle signalée, il accourt pour en être témoin, et paye parfois de sa vie son dévouement à la science ; si un tremblement de terre bouleverse une contrée, il se hâte d'aller constater ses effets destructifs ; il profite des travaux exécutés dans les mines pour pénétrer à de grandes profondeurs, y voir la marche des filons, y reconnaître la masse des dépôts métalliques, y retrouver les traces des êtres appartenant aux anciennes créations ; à l'aide de quelques vestiges il s'efforce de les recon-

struire tout entiers ; de leurs formes il déduit leurs habitudes ; le monde dans lequel ils ont vécu surgit devant lui, et il finit enfin, à force de sagacité et de clairvoyance, par écrire l'histoire de la terre depuis les époques les plus reculées jusqu'à nos jours.

A l'origine, le globe terrestre lui apparaît, en quelque sorte, comme une grosse sphère incandescente entourée d'une épaisse couche de vapeurs et suivant déjà autour du soleil sa course régulière. Dans son mouvement au milieu d'espaces plus froids que lui, le globe terrestre abandonne lentement une partie de sa chaleur primitive ; son refroidissement commence ; sa surface, d'abord fluide, comme celle d'une lave sortant du cratère, ou d'un laitier bondissant hors du haut-fourneau, se fige par place, se resserre, se fendille, laissant libre passage à de nouvelles matières incandescentes qui s'épanchent par ces fissures; soumise à la poussée du liquide qui bouillonne au-dessous d'elle, la surface se renfle, s'aplatit, se bosselle de mille façons différentes. A travers les âges, le refroidissement continue ; il y a dès lors séparation complète entre la masse intérieure encore fluide et l'atmosphère dense, lourde qui accompagne la terre dans sa migration. Cette enveloppe gazeuse participe bientôt elle-même au refroidissement général ; quelques-uns de ces éléments quittent l'état gazeux, se condensent en liquides et tombent sur la croûte solide, qu'ils refroidissent encore ; l'air, l'eau, la terre, sont séparés.

Les roches dures, cristallines et brillantes : granites, gneiss, porphyres, etc., résultats de la solidification de la matière incandescente primitive, sont dès lors soumises à l'action érosive de la masse énorme d'eau produite par l'immense quantité de vapeur qui existait d'abord dans l'atmosphère.

Dans sa condensation, celle-ci a entraîné avec elle les gaz acides auxquels elle était mélangée ; réunis, ils exercent leurs ravages sur les roches primitives, et commencent ces formidables réactions dont nous pouvons aujourd'hui reconnaître la puissance par les résultats qu'elles ont produits. Les matières arrachées aux roches primitives par ces actions dissolvantes, ou ramenées par les eaux des couches atmosphériques sur le globe, se déposent lentement au sein de ces eaux et forment d'épais sédiments au-dessus de la surface dure et brillante, solidifiée d'abord.

La masse incandescente intérieure est loin cependant d'avoir terminé son rôle : elle réagit souvent sur ces dépôts, les disloque,

les bouleverse, les soulève, les perce, et fait surgir au-dessus d'eux d'immenses massifs constitués, comme les Alpes, par des roches primitives, ou, comme les Pyrénées, par des roches sédimentaires, quand la poussée intérieure, suffisante pour redresser les dépôts, n'a pas été capable de les percer pour s'épancher au-dessus d'eux.

Entre ces révolutions dont le globe a été le théâtre et qui ont changé complétement sa surface, déplaçant les mers et les continents, élevant au-dessus des eaux des contrées jusqu'alors submergées, et engloutissant, au contraire, des pays jusqu'alors au-dessus de l'Océan, des actions lentes mais continues ont contribué à couvrir la surface du globe de cet amas de substances différentes, meubles, faciles à entamer, qui constituent la terre arable.

Aujourd'hui encore, ces actions se poursuivent, bien qu'avec une énergie moindre, sur une assez grande échelle, et nous pouvons comprendre quel rôle immense elles ont joué autrefois dans la constitution des terrains de sédiment et en dernier lieu du sol arable.

L'eau, disons-nous, a été le principal instrument de la dislocation, de la décomposition et du transport des roches primitives surgissant encore au milieu des dépôts sédimentaires, ou de ces roches sédimentaires elles-mêmes.

Elle agit par sa masse quand, entraînée par le vent, la pluie fouette avec violence ; par sa masse encore quand la fonte des neiges qui couvrent les montagnes a lieu subitement, et que les lits que se sont creusés les rivières étant insuffisants à contenir les eaux liquéfiées tout à coup, celles-ci bondissent des massifs montagneux vers la mer, tombant en cascades, en torrents, roulant avec elles des quartiers de rochers, des débris de toute sorte arrachés sur leur chemin. Ces eaux arrivent ainsi, avec une vitesse qui va en diminuant jusqu'à la mer, dont la masse fait obstacle à leur écoulement ; là elles s'arrêtent et laissent déposer lentement toutes les parties les plus ténues qu'elles tenaient en suspension et qu'elles ont entraînées jusque-là. — Quand on a violemment agité de l'eau et de la terre, puis qu'on fait tomber la masse bourbeuse dans un verre, et qu'on la voit s'éclaircir par le repos, on a le secret de ces immenses dépôts qui s'accumulent encore journellement à l'embouchure de tous les grands fleuves rapides ; on a l'explication de la formation de tous les deltas au travers desquels le Gange, l'Orénoque, le Nil, le Rhin, le Rhône, gagnent péniblement la mer,

se bifurquant, se divisant en de nombreux canaux, devant ces obstacles qu'ils se sont eux-mêmes posés. La masse de matière encore ainsi transportée actuellement est immense, et on aurait peine à croire aux chiffres donnés par les géologues, s'ils ne reposaient sur les preuves les plus évidentes.

On calcule que le Gange, dans lequel se réunissent les eaux qui s'écoulent du versant septentrional de la chaîne des Ghauts et du versant méridional de l'Himalaya, entraîne annuellement cinq cent mille pieds cubes de matières solides ; ce serait une masse équivalente à soixante pyramides égales à la grande pyramide d'Égypte, et elle formerait la charge de deux mille vaisseaux de quatorze cents tonneaux.

Si nous prenons un exemple plus près de nous, nous trouverons que le Rhône charrie annuellement vingt et un millions de mètres cubes de limon. — Ces matières molles, déposées en poudre fine au sein des eaux, provenant des détritus d'une foule de roches diverses, sont admirablement propres à la culture ; c'est au dépôt périodique que lui apporte le Nil que l'Égypte doit depuis des milliers d'années sa puissante fertilité.

Si les eaux des fleuves viennent constamment ainsi apporter leur tribut envahisseur à l'Océan, celui-ci rejette constamment aussi des matières solides sur les côtes, et se charge, pour ainsi dire, de poser lui-même ses limites ; ces amas marins ne sont pas moins favorables à la culture que les dépôts fluviatiles. Tout le monde connaît le parti que les Hollandais ont tiré des *polders*, dus aux premières causes que nous venons de citer.

En usant les uns contre les autres les galets qu'elle arrache aux falaises, la mer les réduit en poussière, en sable qui s'amoncelle sur les côtes, et qui souvent, entraîné par le vent, donne naissance au phénomènes des dunes. Ce phénomène ne se manifeste, au reste, que lorsque le sable prend sous l'influence de la pluie une certaine adhérence ; dans les contrées où il ne pleut pas, les dunes n'existent point

Ainsi, par leur transport au sein des eaux, les roches se choquent, se brisent, se réduisent en poudre, et nous comprenons déjà l'origine de cette variété de sables qui abondent à la surface du globe. L'eau cependant n'est pas seulement un véhicule qui facilite cette désagrégation, elle provoque aussi une véritable décomposition ; aux dépôts formés de débris des roches et renfermant tous leurs

éléments s'entremêlent ceux qui sont constitués seulement par quelques-uns de ces éléments.

L'argile est un silicate d'alumine qui s'est évidemment formé par voie humide; tout le monde sait, en effet, que lorsqu'elle a éprouvé l'action du feu, cette roche devient dure, cassante, et a perdu sa plasticité caractéristique.

On connaissait depuis longtemps plusieurs des causes auxquelles il faut attribuer la formation de l'argile; M. Daubrée, professeur au Muséum d'histoire naturelle, et tout récemment nommé à l'Académie des sciences, en a dévoilé d'autres, qui avaient échappé jusqu'à ce jour à l'attention des géologues, et qu'il a mises en lumière par des expériences très-remarquables.

M. Daubrée place dans un tonneau, pouvant tourner sur son axe horizontal, des fragments de granite et de l'eau, et il imprime à toute la masse un vif mouvement de rotation, afin d'observer les effets produits par ces chocs multipliés sur la pulvérisation de cette roche si dure et si compacte.

Il a trouvé que pour 25 kilomètres parcourus des fragments anguleux perdaient $\frac{4}{10}$ de leur poids; pour la même distance, les fragments arrondis ne perdaient plus que $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{400}$. On voit par là déjà quelle immense quantité de poudre de détritus représente la formation de ces galets arrondis que la mer rejette constamment sur les côtes; mais à ces résultats curieux, que recherchait spécialement M. Daubrée, s'en sont ajoutés d'autres infiniment plus intéressants encore. Le granite renferme parmi ses éléments du feldspath; — les minéralogistes nomment ainsi un silicate d'alumine combiné à du silicate de potasse, de soude ou de chaux; — sous l'influence de l'eau et des chocs le granite s'est non-seulement brisé, réduit en poudre, mais le feldspath qu'il contient s'est encore décomposé, en silicate d'alumine d'une part, en silicate de potasse de l'autre; or ce silicate d'alumine, nous l'avons dit, c'est de l'argile; quand il est pur, il constitue le kaolin, la terre à porcelaine; s'il est souillé d'oxyde de fer, ainsi que cela arrive habituellement, il forme ces variétés sans nombre de matières plastiques employées depuis l'apparition de l'homme sur la terre à la fabrication des vases de toutes sortes. Le granite une fois désagrégé, le quartz ou le sable qu'il renferme se séparent également, ils se pulvérisent par le choc, par l'agitation au sein des eaux, et

nous avons du même coup les éléments essentiels de la terre arable: l'argile et le sable.

Ainsi le transport des masses granitiques au sein des eaux a pour effet de les décomposer très-simplement, et de produire une masse considérable d'argile et de sable. L'expérience de M. Daubrée donne déjà une des raisons de la présence sur le globe de ces parties essentielles du sol arable. « Il arrive souvent, disait M. Boussingault dans une de ces leçons remarquables qui nous ont donné l'idée d'écrire cet article, qui n'en est qu'un pâle résumé, il arrive souvent qu'une expérience entreprise dans un but déterminé donne un résultat beaucoup plus intéressant que celui sur lequel on comptait; on étudie une question, on en résout une autre plus importante; c'est la récompense du chercheur. »

Si l'eau liquide, agissant par sa masse, par son action dissolvante, détermine la désagrégation des roches, elle exerce son action destructive avec une énergie encore plus grande quand elle passe à l'état solide, quand elle gèle.

Toute l'eau tombée sur le globe ne se précipite pas immédiatement dans le sein de l'Océan; une portion pénètre dans l'intérieur des roches poreuses ou dans les petites fentes des pierres, et les remplit entièrement. Lorsqu'il survient un brusque abaissement de température, cette eau, encore emprisonnée, se solidifie. Elle se distend alors brusquement, et exerce sur les parois qui la compriment une action tout à fait comparable à celle de la poudre. On sait, en effet, qu'une bombe remplie d'eau, hermétiquement fermée, éclate quand on l'expose à un froid assez vif pour geler l'eau qu'elle renferme, et tout le monde a répété ce mot expressif: *Geler à pierre fendre.*

L'effort produit par l'eau qui se congèle est irrésistible, et chaque gelée fait jouer une foule de petites mines dans l'intérieur des rochers, les exfolie, les brise, les disloque, préparant, pour ainsi dire, le travail que termineront plus tard les eaux liquides.

Aux effets moléculaires de la glace s'ajoutent ceux qu'elle produit quand elle est réunie en grandes masses. Il existe sur un grand nombre de montagnes formées de roches très-dures des stries dues à une usure produite, soit par les transports des glaciers, soit par celles de fragments de rochers empâtés dans le glacier, et se mouvant avec lui; les nombreux blocs erratiques qu'on

trouve sur divers points du globe paraissent avoir voyagé dans ces prisons de glace mouvante.

« Toutes les fois, dit Darwin, que je rencontrai de la terre, du sable, des cailloux roulés en couches de quelques mille pieds d'épaisseur, je fus tenté de m'écrier qu'il était impossible que des causes mécaniques, comme nos torrents et nos rivières, eussent réduit en poussière des amas si énormes. Mais, en considérant, d'un autre côté, le fracas de ces eaux dans leur chute, en songeant que des espèces animales entières étaient disparues de la terre, et qu'elles avaient vécu pendant un temps où les mêmes causes de destruction travaillaient déjà nuit et jour, je ne pus comprendre que les montagnes elles-mêmes résistassent encore à leurs efforts. »

A toutes les actions mécaniques que nous venons de passer en revue viennent s'ajouter de puissantes forces chimiques.

L'oxygène de l'air est un de ces agents les plus énergiques ; il pénètre dans les fissures des roches, et se combine avec tous les éléments combustibles qu'il y rencontre. Les roches plutoniques et volcaniques renferment souvent des veines brillantes à apparences métalliques dues à des sulfures injectés dans la masse. L'oxygène agit sur ces sulfures cristallisés, insolubles, pour les transformer en sulfates solubles et friables, que les eaux dissolvent, que les moindres chocs réduisent en poussière. Ces sulfates, décomposés eux-mêmes plus tard, abandonnent des oxydes, notamment l'oxyde de fer, si répandu à la surface du globe.

L'oxygène est surtout puissant sur les roches qui renferment du protoxyde de fer, tant est grande l'affinité de ce dernier corps pour le gaz comburant de l'atmosphère. La roche se couvre peu à peu d'une teinte rougeâtre, s'exfolie, perd sa consistance et est bientôt détruite.

L'acide carbonique, dont les eaux pluviales sont toujours chargées, a été aussi une des causes puissantes de décomposition des roches primitives, et, par suite, de production des dépôts sédimentaires. Ébelmen a étudié cette action avec le plus grand soin, et il a montré qu'un grand nombre de roches, les basaltes, les gneiss, les granites, etc., sous l'influence de l'eau chargée d'acide carbonique, comme l'est l'eau de la pluie, se décomposaient, d'une part, en silicate d'alumine, qui retient toujours une certaine quantité de silice en excès formant l'argile, ainsi que nous l'avons vu déjà ; d'autre part, en carbonate de potasse, de soude, de chaux, de

magnésie, etc., entraînés par les eaux d'abord, puis fixés quelquefois par les couches terreuses au travers desquelles ces eaux filtrent avant d'arriver à la mer.

En résumé, la partie minérale de la terre arable est formée essentiellement par du sable et de l'argile, auxquels viennent s'ajouter en proportions variables du carbonate de chaux, de l'oxyde de fer et une foule d'autres principes en quantité infiniment plus petite.

Si nous ne tenons compte actuellement que de ces trois éléments : argile, silice ou sable et carbonate de chaux, nous trouvons que l'argile et la silice doivent leur origine aux roches granitiques, porphyriques, aux basaltes, etc., qui, soumis à l'action des eaux, à l'action de l'oxygène, à celle de l'acide carbonique, se sont désagrégés et décomposés ; quant au carbonate de chaux, il est très-probable qu'il tire son origine de masses de calcaire primitif enclavées dans des roches de cristallisation, dissoutes par les eaux minérales chargées d'acide carbonique, puis abandonnées de nouveau à l'état solide, quand les conditions de solubilité ont changé.

Outre les matières minérales précédentes, un échantillon quelconque de terre arable renferme des racines, des feuilles, des pailles plus ou moins altérées ; ces débris vont former le dernier principe constituant du sol, l'humus.

La vie est répandue sur le globe avec une telle profusion, qu'aussitôt que des débris de roches quelconques sont réunis par quelques gouttes d'eau, une graine entraînée par le vent, apportée par un oiseau, tombe, germe et une plante apparaît. Qui n'a été étonné, dans les pays de montagnes, de voir des arbres s'accrocher sur les pentes les plus abruptes et y atteindre un puissant développement? Sur un mur, l'herbe pousse bientôt ; elle s'installe entre les joints des pavés dans les habitations désertes. Comme les anciens l'ont dit dans un autre sens, la nature a horreur du vide : elle veut qu'il y ait partout des êtres pour chanter sa louange, et elle a varié leurs organismes pour les rendre propres à toutes les conditions possibles. — Les rochers ont leurs lichens, les eaux de la mer leurs forêts d'algues et de fucus, et, dans les marais, à côté des joncs élancés, s'épanouit la blanche fleur du *nymphea*.

Toute plante qui se développe puise dans l'air une partie des éléments qui servent à son accroissement ; au moment de sa

mort, elle abandonne au sol ces principes pris à l'atmosphère, et commence par sa dépouille cette accumulation de débris organiques qui finissent par former un des principes constituants du sol arable.

II

Propriétés physiques de la terre arable. — Terres légères. — Terres fortes. Drainage.

Les qualités de la terre arable, sa fécondité, dépendent d'un grand nombre de conditions qu'il nous faut actuellement passer en revue.

Les agriculteurs savent très-bien distinguer une bonne terre d'avec une mauvaise ; un hectare de terrain a une autre valeur en Bourgogne qu'en Champagne ; pourquoi? Quelles sont les causes qui déterminent ici une végétation plantureuse; là, au contraire, de maigres récoltes?

La terre arable a, par rapport à la végétation, deux fonctions différentes : elle sert de support aux plantes, elle les nourrit ; elle joue plus ou moins bien ces deux rôles ; le premier exige une certaine consistance, une facilité déterminée à s'échauffer, à se laisser pénétrer par l'eau et à s'égoutter ; la profondeur jusqu'à laquelle les racines pourront s'enfoncer, la nature du sous-sol, modifieront encore ce qu'on appelle la nature physique du sol.

La somme des matières azotées, phosphorées, qui existent dans la terre, la faculté plus ou moins grande qu'aura le sol de conserver ces principes sans déperdition, de ne les céder qu'à mesure que la plante en aura besoin, et la perfection plus ou moins grande avec laquelle elle remplira la seconde fonction, détermineront les qualités chimiques de la terre arable.

Les propriétés physiques vont d'abord nous occuper ; ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on leur attache de l'importance, et dans cette étude Virgile peut nous servir de guide.

« Je vais dire maintenant par quelle épreuve tu pourras reconnaître la nature d'une terre, et distinguer celle qui est légère de celle qui est forte ; l'une convenant mieux à la vigne, l'autre au blé. D'abord, choisis dans le sol un endroit ferme, où tu feras creuser une fosse profonde ; tu y rejetteras les terres qui en auront

été tirées, et tu les aplaniras à la surface en les foulant aux pieds. S'il en manque pour combler la fosse, ton sol est léger, et excellent pour les troupeaux et pour la vigne. Au contraire, si les terres ne peuvent pas rentrer dans le lieu d'où elles sont sorties, et si, la fosse comblée, elles en excèdent les bords, ton sol est fort; attends-toi à des mottes énormes, à des glèbes qui retarderont le soc; fends-les avec les plus robustes taureaux [1]. »

Les terres fortes dans lesquelles l'argile domine sont, en effet, difficiles à travailler; deux chevaux n'en peuvent guère labourer que vingt-cinq ares dans une journée, tandis qu'ils auraient pu travailler un hectare de terre sablonneuse dans le même temps.

Plus lourdes, plus difficiles à manier que les sables, les terres argileuses retiennent aussi plus facilement l'eau; l'humus favorise encore cette faculté hygrométrique des argiles; il retient l'eau avec une rare énergie, et, dans des circonstances où le sable serait presque entièrement desséché, il est encore très-humide ; sa couleur noire n'est pas sans influence sur l'échauffement du sol; un sol riche en humus absorbera tous les rayons calorifiques qui tombent sur lui sans les réfléchir.

Les terres blanches agissent tout autrement : elles reflètent la chaleur, la renvoient sans que leur température s'élève; aussi a-t-on remarqué souvent que les récoltes mûrissaient un peu plus tôt sur une terre noire s'échauffant facilement que sur une terre blanche où la chaleur ne pouvait pénétrer.

Dans chacune des propriétés énumérées, et que Schubler a étudiées avec tant de soin : ténacité, pesanteur spécifique, aptitude à l'échauffement, facilité à retenir l'eau, l'argile et le sable jouent des rôles différents; les propriétés du sol dépendront donc de la prédominance de l'un des éléments sur l'autre. Les dénominations sous lesquelles on a rangé depuis longtemps les terres arables s'appuient sur les proportions relatives de ces éléments qui rendent les terres propres plus spécialement à certaines cultures qu'à d'autres. D'après les agronomes allemands Schwertz et Thaer, le nom de terre forte convient à un sol renfermant 74 d'argile, 10 de sable, 4 de calcaire; un tel sol sera excellent pour la culture du blé.

Ils considèrent comme type de la terre légère, particulièrement

[1] *Géorgiques*, livre II.

apte à la culture pacagère, à la prairie, une terre qui ne renferme plus que 14 d'argile, mais dans laquelle on rencontre, en outre, 69 de sable et 10 de calcaire. Une terre argilo-sablonneuse, propre à l'avoine, sera formée de 24 d'argile et de 75 de sable. Enfin, si le sable domine énormément, si la terre n'est plus que du sable renfermant 5 pour 100 d'argile, la terre dite sablonneuse n'est plus propre qu'à la culture du seigle.

On voit d'après cette classification, dit M. Boussingault dans son *Économie rurale*, qu'on peut prendre pour « termes extrêmes le froment et le seigle : le premier réussissant dans les mauvais terrains argileux, le second végétant encore dans les sols sablonneux les plus médiocres. Dans ces terrains *limites*, le froment et le seigle viennent fort mal, à la vérité; mais entre ces deux extrêmes se trouvent comprises toutes les variétés des sols qui résultent de la fusion des terres les plus fortes, les plus tenaces, avec les terres les plus légères, depuis l'argile la plus consistante jusqu'au sable mouvant. Dans ces sols mixtes, de qualités intermédiaires, le froment et le seigle s'avancent graduellement l'un vers l'autre, en recrutant l'orge, l'avoine, le sarrasin, jusqu'à ce qu'ils se rencontrent, au milieu de l'échelle, dans un terrain neutre, qui permet la culture de toutes les céréales. »

Puisque d'un mélange, en proportions convenables, de sable et d'argile dépendent les propriétés du sol, on comprend l'avantage qu'il y aurait à pouvoir modifier ce sol, soit en ajoutant du sable si la terre est trop forte, ou réciproquement en apportant de l'argile à une terre trop légère. Malheureusement les frais de transport sont presque toujours trop considérables pour que l'opération soit avantageuse. On arrive cependant parfois à faire un *colmatage*, c'est-à-dire un dépôt d'argile, en chargeant l'eau de faire le transport. C'est une pratique assez répandue dans l'Amérique méridionale que de disposer de l'argile dans des rigoles, puis d'y faire couler de l'eau qui va inonder les champs à amender et y dépose l'argile entraînée; sous cette forme, l'opération est possible et très-profitable.

La connaissance de la constitution physique de la terre arable est donc de la plus haute importance, puisqu'elle permet de prévoir quelles sont les cultures qui peuvent réussir dans un sol déterminé, et quelles sont celles, au contraire, qu'il faut éliminer. L'attention des chimistes agronomes se porte actuellement sur la

détermination de ces deux principes, sable et argile, plutôt que sur le dosage exact de toutes les espèces chimiques répandues dans le sol arable, ainsi qu'on le faisait autrefois, bien que quelques-unes de celles-ci aient cependant une grande importance [1].

Malgré la facilité qu'offre l'essai du sol arable, il est peu probable que les agriculteurs l'exécutent jamais eux-mêmes; aussi on ne saurait trop louer les hommes de science qui se dévouent à l'étude des sols d'une contrée; nous avons admiré à l'Exposition agricole de 1860 un travail remarquable, exécuté dans ce sens pour le département du Jura par le frère Ogirien, qui avait analysé et classé méthodiquement presque toutes les variétés de terres cultivées de cette portion de notre territoire. Il serait très à désirer qu'un pareil exemple fût suivi; on aurait alors dans la main les éléments nécessaires pour classer les terres encore incultes, et savoir à quelles cultures elles devront être destinées.

La fertilité de la terre arable dépend non-seulement des conditions précédentes, mais encore du sous-sol sur lequel elle repose. Les terres arables très-épaisses qui ne sont soutenues par le sous-sol qu'à une grande profondeur sont, en général, très-fertiles. Ainsi, sans citer les terres noires du sud-est de la Russie, qui fournissent des céréales sans engrais depuis des siècles, en nous en tenant à la France, nous allons trouver des épaisseurs de terre

[1] L'analyse immédiate du sol arable, c'est-à-dire la détermination de ses principes constituants, vient d'être singulièrement facilitée dans ces derniers temps par l'invention d'un petit appareil très-simple et très-portatif, déjà en usage depuis quelques années en Allemagne, mais que le public français a vu fonctionner pour la première fois, à l'Exposition agricole des Champs-Élysées, en 1860. L'auteur, M. Mazure, place dans un vase bien connu des chimistes, et qui a la forme d'une poire très-allongée, dans une *allonge*, la terre à analyser. Il fait pénétrer par le bas de l'allonge un courant d'eau qui passe au travers de cette terre en la soulevant; le gravier, le sable, plus denses, retombent bientôt au fond de l'allonge, tandis que l'argile, plus légère, se suspend dans l'eau, y reste, et peut être entraînée dans un tube fixé dans le bouchon qui ferme l'orifice supérieur de l'allonge; l'eau argileuse, trouble, remplit le tube, et arrive jusqu'à une courbure, puis redescend dans un vase voisin. On continue le lavage tant que l'eau passe trouble; quand elle arrive claire jusqu'au tube, c'est que toute l'argile est enlevée, elle se réunit dans le vase où est tombée l'eau séparée. On dessèche l'argile pour la peser; on peut faire la même opération pour le sable resté dans l'allonge, et l'on a exécuté ainsi très-rapidement une analyse très-suffisante pour se rendre compte des propriétés du sol étudié.

arables très-variables et correspondant aussi à des fertilités très-différentes. La Limagne est célèbre depuis longtemps pour sa richesse : la terre arable y a deux mètres d'épaisseur; les sols d'Alsace, qui portent des cultures industrielles, houblon, garance, ont une profondeur qui varie de 66 à 33 centimètres; il n'en est plus de même en Champagne : la terre arable n'y a que 2 centimètres d'épaisseur. Aussi une partie de la Champagne est-elle inculte.

Une terre n'ayant qu'une faible profondeur pourra cependant se bien prêter à la culture si elle repose sur un sous-sol perméable. M. Boussingault citait, dans son cours du Conservatoire des arts et métiers, un exemple curieux : une maison est rasée, on comble les caves avec des pierres, puis on met le sol en culture; c'est de la luzerne qu'on y plante d'abord; cette luzerne prospère tellement au-dessus du sol perméable formé par les caves comblées de pierre, qu'elle dessine exactement, par sa vigueur, son élévation au-dessus des parties voisines, le plan des caves empierrées.

Ces effets remarquables d'un sous-sol perméable sont dus à deux causes différentes : d'abord les racines peuvent pénétrer plus profondément dans la terre, elles peuvent s'étendre sur une plus grande surface que si le sol repose sur une couche de roche très-dure; enfin, les eaux pluviales qui ont traversé la terre arable peuvent s'écouler et ne séjournent pas au-dessous du sol arable.

Si, profitant de cet enseignement, on veut augmenter la profondeur du sol arable, on peut se servir des nombreuses charrues sous-sol tant de fois perfectionnées; si on veut de plus faire écouler les eaux retenues à la surface du sol ou à une faible profondeur, il faut entreprendre toute une série de travaux d'une grande importance, il faut avoir recours au *drainage*.

L'origine de cette pratique remonte jusqu'aux anciens; dans son *Agriculture*, Columelle nous dit : « Si le sol est humide, il faudra faire des fossés pour le dessécher et donner de l'écoulement aux eaux. On connaît deux sortes de fossés, ceux qui sont cachés et ceux qui sont ouverts; on fera pour les fossés cachés des tranchées de trois pieds de profondeur, que l'on remplira jusqu'à moitié de petites pierres ou de gravier pur, et l'on recouvrira le tout avec de la terre tirée du fossé. Si l'on n'a ni pierre ni gravier, on formera, au moyen de branches liées ensemble, des fascines auxquelles on donnera la grosseur et la capacité du fond du

fossé, et qu'on disposera de manière à remplir ce vide. Lorsque les fascines seront bien enfoncées dans le fond du canal, on les recouvrira de feuilles de cyprès, de pin ou de tout autre arbre, qu'on comprimera fortement après avoir recouvert le tout avec de la terre tirée des fossés. »

L'usage des fossés couverts ne fut pas perdu, et Olivier de Serres indique plus tard, dans son *Théâtre d'agriculture*, la disposition ramifiée des fossés : « Est nécessaire que le fond que voulés dessécher avoir pente, petite ou grande, sans laquelle les eaux ne pourraient se vuider. Cela présupposé, un grand fossé sera fait depuis un bout du lieu jusques à l'autre, de long en long, commençant tous-jours par le plus bas endroit, et par où remarquerés des sources et humidités : dans lequel fossé, plusieurs autres, mais petits, pendans en plume, des deux costés se joindront pour y décharger leurs eaux, qu'ils ramasseront de toutes les parties du terroir : par ce moyen, en contribuant chacun sa portion au grand fossé, icelui les recueillant toutes, les rapportera assemblées à son issue. »

Jusqu'à ces dernières années, cependant, le drainage par fossés couverts était certainement peu répandu, et c'est seulement en 1833 qu'il fut remis en honneur par M. Smith, directeur d'une filature de coton dans le comté de Stirling, en Écosse. Employant d'abord des tuiles plates surmontées d'un demi-cylindre, fabriquées à la main, les ingénieurs anglais les remplacèrent bientôt par les tuyaux cylindriques exclusivement employés aujourd'hui, et fabriqués à l'aide de machines spéciales. — M. Parkes en Angleterre, M. Thackeray en France, plusieurs années après, cherchèrent à vulgariser ces nouvelles méthodes d'assainissement, et leurs efforts furent couronnés de succès.

Dans certaines localités, les effets du drainage furent des plus remarquables : on cite un champ, dans le département de l'Aisne, dont la production en blé a passé de 7 hectolitres par hectare à 17, avec un gain comparable pour la paille. Avant le drainage, l'hectare rapportait 192 francs; après, 439 francs. Le prix du drainage ne s'était élevé qu'à 234 francs par hectare, de façon qu'en une seule année l'opération avait été payée et au delà.

Il est bien certain que dans tous les cas les résultats ne sont pas aussi favorables, mais il est certain également que, dans une foule de circonstances, le drainage peut être des plus utiles. Il permet-

trait notamment de supprimer les fossés ouverts, qui enlèvent à la culture une surface de terrain énorme. Dans le nord de la France, on a évalué la superficie de ces fossés à un trente-cinquième de la surface des terres arables ; or on compte entre Lille et Dunkerque 180,000 hectares de terres labourables, dont le trente-cinquième est de 5,000 hectares. Un hectare vaut en moyenne 4,000 francs. La valeur de la superficie des fossés est donc de 20 millions, capital complétement mort.

Le nombre d'hectares drainés en France est encore très-peu considérable; les dernières années de sécheresse avaient fait un peu délaisser ces utiles travaux; mais l'année pluvieuse de 1860 les a remis en honneur : à quelque chose malheur est bon.

En dehors de toute question d'argent, l'expulsion des eaux stagnantes est souvent impérieusement commandée par l'humanité. On cite plusieurs exemples de pays jusqu'alors ravagés par les fièvres, qui ont été assainis d'une façon remarquable par le drainage. Dans le comté de Wolwich on comptait :

	En 1847 avant le drainage.		En 1848 après le drainage d'une grande étendue de terrain.		
Juillet.	25	—	—	0	cas de fièvre ou de dyssenterie
Août.	30	—	—	2	—
Septembre. . .	17	—	—	7	—
Octobre. . . .	9	—	—	4	—
Novembre. . .	9	—	—	0	—
Décembre.. . .	12	—	—	0	—
En 6 mois. . .	102	—	—	16	—

L'effet est donc des plus manifestes. Or nous avons en France plusieurs localités dévastées par les fièvres ; la portion du département de l'Ain connue sous le nom de Dombes n'est habitée que par une population misérable qui végète et meurt au milieu des marais; il est certain que des travaux de desséchement changeraient ces conditions climatériques, et qu'on pourrait faire une contrée florissante d'un pays pauvre, malsain et presque abandonné[1].

[1] Voir, pour plus de détails sur le drainage, plusieurs publications de M. Barral.

III

Propriétés chimiques de la terre arable. — L'humus. — Produits de sa décomposition. — Théorie minérale de M. J. de Liebig. — Discussion. — MM. Lawes et Gilbert. — M. Boussingault. — Propriétés absorbantes des argiles. — MM. Huxtable, Thompson et Way. — M. P. Thénard. — Conclusion.

Qui n'a remarqué, au mois d'août, quand la terre est couverte de hautes moissons, de profondes différences entre deux champs voisins? L'un et l'autre portent du blé, la constitution physique du sol est semblable, la même terre se continue d'un domaine à l'autre; dans l'un cependant les épis drus, serrés les uns contre les autres, ne s'inclinent sous le vent en longues ondulations semblables à des vagues que pour se relever bientôt droits et fiers. Dans le champ voisin, au contraire, les pieds sont clair-semés, petits, grêles, rabougris ; si le vent est fort, si la pluie est longue, ils vont se coucher pour ne plus se relever.

A quoi sont dues ces différences? pourquoi deux champs placés dans des circonstances identiques, quant aux conditions physiques, présentent-ils cependant des aspects aussi dissemblables?

C'est qu'outre la bonne constitution du sol, outre sa consistance convenable, sa perméabilité suffisante, il faut encore qu'il renferme certains éléments propres à maintenir la fertilité, et que ces principes se trouvent dans l'un des domaines et font défaut dans l'autre.

La méthode qui se présente naturellement à l'esprit, pour découvrir quels sont les éléments du sol arable particulièrement utiles aux plantes, est de les rechercher dans celles-ci. En étudiant les végétaux eux-mêmes, nous pourrons découvrir les principes nécessaires à leur existence; nous conclurons de la composition du végétal à celle que doit présenter le sol sur lequel il se développe. — Or tout végétal renferme de l'eau, du charbon, de l'hydrogène n'entrant pas dans la constitution de l'eau, de l'azote, surtout dans les graines, et enfin des matières minérales, des cendres qu'il laisse après la calcination. Dans ces cendres, les phosphates, la potasse, la chaux, la silice, dominent. Cherchons donc dans le sol ces différents principes, et, si d'ailleurs les conditions physiques sont favorables, nous pourrons déduire la fertilité probable d'une terre de leur abondance ou de leur défaut.

Or l'expérience nous a appris depuis des siècles que les terres les plus fertiles étaient celles qui abondaient en débris d'origine organique, renfermant par conséquent les éléments même des végétaux; elle nous a appris également qu'une terre s'améliorait considérablement par l'adjonction du fumier d'étable. Le vieux Caton, Varron, Columelle et tous les agronomes romains ne se lassent pas de revenir sur l'importance du fumier, sur les soins qu'on doit lui donner.

Ainsi une terre riche en débris organiques convient particulièrement à la culture, c'est là un fait d'expérience qui peut suffire à la pratique, mais que la science veut expliquer, en cherchant par quelles séries de métamorphoses passent ces détritus de la vie avant d'être entraînés dans un nouvel organisme. Or, une terre enrichie d'engrais se transformant en une sorte de matière noire nommée terreau, on crut d'abord que les plantes puisaient dans le sol les principes mêmes du terreau, dissous dans l'eau; que, suivant l'expression consacrée, les plantes absorbaient des molécules de terre très-ténues formées par la décomposition des matières végétales elles-mêmes et renfermant, par conséquent, les éléments nécessaires à la nutrition végétale. Ce fut là l'opinion régnante jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, et on la trouve notamment dans Duhamel en 1750.

Bientôt cependant Th. de Saussure commença l'admirable série d'expériences qu'il a résumées dans ses *Recherches chimiques sur la végétation*; il examina avec soin le terreau, l'humus, *deus ex machinâ* de toute la théorie agricole de l'époque, et commença à donner des idées plus précises sur le rôle qu'il est appelé à jouer.

Si on abandonne du bois à l'action de l'air et de l'humidité, on le voit entrer lentement en décomposition, il se pourrit, il se brûle. Son charbon se transforme lentement en acide carbonique, son hydrogène en eau, son azote, engagé pendant longtemps dans ces combinaisons noires qui accompagnent toutes les pourritures, finit par s'en dégager à l'état d'ammoniaque. Le bois s'est transformé ainsi en humus, état intermédiaire entre le bois sain et les principes chimiques parfaitement définis, acide carbonique, eau, ammoniaque dans lequel il doit se résoudre plus tard.

Les racines, les feuilles, les tiges abandonnées sur le sol par les végétations antérieures, subissent des modifications analogues; dans le terreau abondent et l'humus et les matières qu'il donne par sa décomposition.

En 1804, époque à laquelle Théodore de Saussure présente pour la première fois une théorie satisfaisante des phénomènes de la végétation, on ne donne plus une aussi grande importance à l'humus; on croit cependant encore qu'il est absorbé directement par les plantes, bien qu'en réalité on sache, depuis Priestley, Ingen Houz, Sennebier, qu'elles prennent une partie de leur charbon dans l'acide carbonique de l'air, et qu'on commence à penser que c'est l'ammoniaque qui leur fournit leur azote [1].

Cette opinion fut singulièrement affermie par une expérience célèbre de sir H. Davy. Voulant prouver combien sont grandes les pertes que font les fumiers abandonnés à une décomposition trop vive, le célèbre chimiste anglais « remplit de fumier une cornue capable de contenir trois pintes d'eau, et dirigea son bec sous les racines d'un gazon qui faisait partie de la bordure d'un jardin. En moins d'une semaine, l'effet était devenu sensible : l'herbe contrastait fortement avec celle qui ne recevait aucune des émanations de la cornue, et végétait avec une force extraordinaire. » Les gaz qui se dégageaient étaient de l'acide carbonique et de l'ammoniaque, qui concourent, l'un et l'autre, si l'humidité les retient, à la nutrition des plantes (octobre 1808).

Ce rôle de l'humus fut parfaitement défini quand, plus tard, vers 1840, le baron de Liebig imprima à la chimie agricole un vif essor en publiant la *Chimie appliquée à la physiologie et à l'agriculture*. « L'humus, dit le célèbre auteur allemand, nourrit les plantes, non pas parce qu'il est absorbé et assimilé comme tel, mais parce qu'il présente aux racines une source alimentaire lente et continue, une source d'acide carbonique qui approvisionne la

[1] Si l'azote est un être simple, s'il n'est pas un élément de l'eau, on doit être forcé de reconnaître que les plantes ne se l'assimilent que dans les extraits végétaux et animaux et dans les vapeurs ammoniacales *, ou d'autres composés solubles dans l'eau qu'elles peuvent absorber dans le sol et dans l'atmosphère. On doit admettre que, lorsqu'elles végètent dans une atmosphère non renouvelée, à l'aide d'une petite quantité d'eau pure, les parties qui se développent n'acquièrent de l'azote qu'aux dépens de celui que les autres parties du végétal contenaient antérieurement à l'expérience. (Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation;* an XII, 1804.)

* On ne peut douter de la présence des vapeurs ammoniacales dans l'atmosphère lorsqu'on voit que le sulfate d'alumine pur finit par se changer, à l'air libre, en sulfate ammoniacal d'alumine. La supériorité des engrais animaux sur les engrais végétaux ne semble devoir tenir en grande partie qu'à une plus grande proportion d'azote dans les premiers.

plante de sa nourriture essentielle, tant que les conditions nécessaires à la pourriture (l'humidité et l'accès de l'air) se trouvent réunies. »

Puisque l'humus n'est plus que la source des matières carbonées et azotées qui doivent fixer les plantes, et que toute terre renferme de l'humus, on doit y rencontrer aussi les produits que donne cet humus par sa décomposition ; de cette idée résultèrent de très-nombreux et très-importants travaux, exécutés surtout dans les derniers temps.

On savait bien que la terre arable renferme de l'acide carbonique; mais on n'en avait pas déterminé la quantité avant les recherches publiées en 1853 par MM. Boussingault et Léwy. — « Il en ressort que l'air enfermé dans un hectare de terre arable fumée depuis près d'une année contient à peu près autant d'acide carbonique qu'il s'en trouve dans 18,000 mètres cubes d'air atmosphérique; et que, dans l'air d'un hectare de terre arable récemment fumée, l'acide carbonique, dans certaines circonstances, représente celui qui est contenu dans 200,000 mètres cubes d'air normal; elles constatent, en outre, que le *loam*, sous-sol de la forêt[1], en prenant l'épaisseur de 33 centimètres adoptée pour la terre arable, contient autant d'acide carbonique qu'il y en a dans 5,000 mètres cubes d'air pris dans l'atmosphère. »

Quand les débris végétaux s'accumulent dans un sol dépourvu de principes calcaires, dans des terres particulièrement sablonneuses, celles-ci finissent par acquérir une certaine acidité due à la non-neutralisation des acides formés par l'oxydation du bois. On les appelle terres de bruyère; elles sont propres à certaines cultures spéciales : les rhododendrons, les azalées, s'y plaisent.

On admettait généralement que ces terres renferment, outre l'acide carbonique, produit habituel de la décomposition de l'humus, une certaine quantité d'acide acétique : il me fut facile de le démontrer récemment en distillant, à une très-douce chaleur, l'eau que retient toujours la terre de bruyère; cette eau était décidément acide, et je pus y caractériser l'acide acétique[2].

La décomposition plus ou moins complète des détritus de végétation précédente fournit donc à la terre arable une quantité suf-

[1] Forêt de Gœrsdorff (Alsace).

[2] Recherches sur l'emploi agricole des phosphates. A. Goin, br. in-8, 1860.

fisante d'acide carbonique. Les plantes, au reste, en puisent encore dans l'air atmosphérique, car leurs parties vertes, exposées au soleil, ont, comme l'on sait, la propriété de décomposer cet acide carbonique, d'assimiler le carbone en rejetant l'oxygène [1].

L'air atmosphérique renfermant les $\frac{4}{5}$ de son volume d'azote, on fut tenté d'abord de croire que les plantes pouvaient s'assimiler ce dernier gaz, comme elles assimilent de l'acide carbonique; la plupart des physiologistes ne sont pas cependant aujourd'hui de cet avis, et admettent que, si les plantes peuvent puiser dans l'air une certaine quantité d'azote, c'est à la condition que cet azote soit combiné avec de l'hydrogène pour former de l'ammoniaque, ou bien avec de l'oxygène pour former de l'acide nitrique. Ce serait donc surtout dans la terre arable que les plantes iraient chercher l'azote nécessaire à leur constitution. La terre arable en renferme, en effet, de notables proportions. M. Liebig, entre autres, a fait analyser un certain nombre d'échantillons de terres arables; en admettant que la profondeur de la terre fût de 33 centimètres, on trouverait pour la terre arable d'un hectare en poids 4,950,000 kilogr., qui renfermeraient de 55,000 kilogr. d'azote contenus dans diverses matières, quantité extrêmement considérable fournie par un échantillon des terres noires du sud-est de la Russie, jusqu'à 3,000 kilogr. seulement dans une terre d'un champ d'Allemagne; on n'a pas dosé l'azote contenu dans des sols absolument stériles; il est très-probable que la quantité contenue aurait été infiniment plus faible.

En continuant la revue des principes que les plantes doivent trouver dans le sol pour arriver à leur complet développement, nous arrivons aux substances minérales. Toutes les plantes laissant, quand on les brûle, des cendres, et ces cendres présentant toujours sensiblement la même composition pour une espèce donnée, nous sommes forcés d'admettre, avec Th. de Saussure [2], que

[1] M. Boussingault a démontré tout récemment que les plantes dégagent en même temps que de l'oxygène, de l'oxyde de carbone; cette belle découverte sera très-prochainement analysée, avec les développements qu'elle mérite, dans la *Revue nationale*.

[2] La quantité de phosphate de chaux renfermée dans un animal ne s'élève pas au cinquième de son poids, et cependant personne ne doute de la nécessité de ce sel pour la formation du système osseux. J'ai trouvé ce sel dans les cendres de toutes les plantes que j'ai examinées, et l'on n'a aucun motif pour admettre qu'elles peuvent exister sans lui. (*Recherches chimiques sur la végétation.*)

ces matières minérales sont aussi indispensables au complet développement des plantes que l'acide carbonique, l'eau, l'azote, qui forment leurs tissus mêmes.

Parmi les substances minérales se trouvent en première ligne les phosphates, qu'on rencontre dans les cendres de toutes les plantes, et notamment des céréales, qui sont le plus habituellement cultivées. — Les quantités de phosphates qui se rencontrent dans le sol arable sont extrêmement variées; tandis que dans le sol de la Brie ces sels se rencontrent en proportions relativement considérables, ils font complétement défaut dans les terres de bruyère ou dans certains sols argilo-calcaires. Sur sept échantillons de terre arable dans lesquels j'ai recherché la présence des phosphates, j'ai trouvé, en admettant toujours pour le poids d'un hectare 4,950,000 kilog., 1,279 kilog. d'acide phosphorique, dans une terre arable de la Brie, tandis que dans un échantillon provenant du département d'Indre-et-Loire la proportion est descendue à 316 kilogrammes par hectare. La quantité de ce principe indispensable aux plantes est donc souvent très-faible, quelquefois même il fait entièrement défaut; deux des sept échantillons que j'ai analysés m'en ont paru complétement dépourvus.

La chaux est très-abondante dans certaines cendres, et notamment dans celles des légumineuses ; elle ne fait pas en général défaut dans le sol, quelques-uns même sont exclusivement formés de calcaires ; si elle manque absolument, on obtient des résultats merveilleux en l'important; l'agriculture de la Sarthe et de la Mayenne a été complétement modifiée, dans ces derniers temps, par l'emploi de la chaux ; le Limousin, pays jusqu'à présent déshérité, à seigle et à sarrasin, dont les habitants émigrent, le Limousin sera transformé prochainement par les effets de cette précieuse substance [1].

On a montré tout récemment que la potasse favorisait étrangement le développement des plantes ; c'est ce qu'on pouvait au reste prévoir, puisque ce sont les plantes qui sont actuellement chargées d'aller puiser dans les entrailles de la terre la potasse qu'emploient les arts. — Le temps viendra évidemment où l'on

[1] Il faut remarquer au reste que la plupart des calcaires employés par l'agriculture renferment une petite quantité d'acide phosphorique, dont l'effet utile vient s'ajouter à celui de la chaux elle-même. — Dehérain, *Annales du Conservatoire*, n° 5, juillet 1861.

tirera parti des forêts des pays éloignés de toute voie de communication, autrement qu'en les brûlant pour en extraire la potasse; mais c'est ainsi cependant que sont exploitées, actuellement encore, certaines forêts de l'Amérique et de la Russie.

La silice enfin est encore une matière nécessaire à la constitution complète de certaines plantes; la tige élancée du blé et des autres céréales renferme dans ses cendres 70 p. 100 de silice qui, croit-on, lui donne une certaine rigidité. On cite certaine plante d'Amérique très-riche en silice dont les feuilles peuvent servir d'une sorte de brunissoir, tant cette silice les rend dures et rugueuses.

Il semble maintenant que nous sommes arrivés à la solution de la question. — Nous avons rencontré dans le sol arable les substances nécessaires à l'alimentation des plantes. Si ces substances font défaut, nous les introduirons dans la terre avec les engrais, avec le fumier de ferme, engrais par excellence, qui nous donnera de l'acide carbonique par la décomposition des pailles, de l'azote par l'altération des matières animales qu'il renferme, et enfin des phosphates, des sels de potasse provenant de ceux que les animaux ont trouvés dans leur nourriture et n'ont pas fixés dans leur organisme. Comme l'azote et les phosphates se trouvent dans le sol en quantité relativement moindre que les autres principes, nous les rechercherons davantage et nous pourrons admettre qu'un engrais vaudra en raison de l'azote et des phosphates qu'il renferme.

Telle est, en effet, aujourd'hui l'opinion générale. Toutefois, quand en 1841 MM. Boussingault et Payen commencèrent cette longue série d'analyses d'engrais qui a si puissamment contribué à fixer la science agricole, ils s'occupèrent exclusivement de l'azote, négligeant les phosphates, non pas systématiquement, mais par cette excellente raison qu'il faut bien commencer par une chose et qu'on ne peut tout faire en même temps.

A la même époque, M. Liebig, frappé des quantités énormes d'azote trouvées dans le sol, revint sur sa première opinion, et déclara que la quantité d'azote que renfermait un engrais n'avait aucune influence sur sa valeur, attendu que le sol en renfermait plus qu'il n'était nécessaire, mais que les substances minérales étaient seules importantes.

La guerre est allumée; la théorie minérale triomphe en Allemagne.

En Angleterre et en France, on eut le bon sens de ne pas pren-

dre exactement le contre-pied, et on voulut que si, comme on le pensait de l'autre côté du Rhin, les engrais valaient en raison des principes minéraux qu'ils contenaient, ils valaient aussi en raison de l'azote qu'ils pouvaient renfermer.

Des expériences directes étaient nécessaires ; elles furent nombreuses, et toutes, il faut le dire, à l'appui de l'opinion éclectique franco-anglaise. MM. Lawes et Gilbert firent en Angleterre plusieurs séries d'essais du plus haut intérêt, qu'ils ont insérés dans le seizième volume du *Journal of the royal agricultural society of England*. De 1844 à 1855 ils étudièrent comparativement des cultures de blé dans des champs amendés avec des principes minéraux seulement, avec des sels ammoniacaux seulement, avec ces deux substances réunies ; enfin, comme terme de comparaison, on cultivait aussi des champs qui n'avaient reçu aucun engrais. Tandis que les sols amendés exclusivement avec les substances minérales ne donnaient qu'un très-faible excès sur la récolte obtenue du champ non amendé, ceux qui avaient reçu les sels ammoniacaux présentaient au contraire un gain notable, surpassé, au reste, par l'emploi simultané des engrais azotés et minéraux.

En France, M. Boussingault ne fit pas des expériences aussi nombreuses, mais la forme qu'il donna à son essai est d'une grande élégance. « Si, disait-il, il faut en croire M. le baron de Liebig, si les parties minérales des engrais sont seules utiles, nous sommes, nous autres agriculteurs, de bien grands maladroits ; nous nous donnons, depuis des milliers d'années, la peine de transporter péniblement nos fumiers de la ferme aux champs ; nos attelages nous coûtent cher ; faisons mieux : brûlons nos fumiers ; nous aurons ainsi une toute petite quantité de cendres, et pour le transport une brouette fera l'affaire. »

On fit cet essai sur un are d'une terre appauvrie par la culture ; on porta les cendres obtenues de 500 kilogrammes de fumier et on y planta de l'avoine ; pour comparer, on fuma un are voisin du précédent avec 500 kilogrammes de même fumier de ferme, et on attendit. Tout le monde devine le résultat : dans le champ qui avait reçu le fumier, 1 de graine rendit 14 ; dans le champ voisin, amendé avec les cendres, 1 de graine rendit 4.

Le résultat n'était pas douteux et ne pouvait pas l'être ; car, en agriculture, il faut bien se rappeler que les pratiques en usage depuis des siècles ont des raisons d'être, et que ce n'est pas en vain

qu'on les néglige ; la science les explique, mais presque jamais ne les renverse.

Une difficulté vaincue, une autre reparaissait. Pourquoi était-il nécessaire d'apporter au sol la petite quantité de matières azotées contenues dans les fumiers, puisque, d'après les analyses citées plus haut, ce sol renfermait des quantités énormes d'azote, de quoi fournir aux récoltes les plus épuisantes pendant de longues années? Il fallait donc que cet azote ne fût pas dans des conditions convenables à l'assimilation par les plantes, et que celles-ci ne pussent pas s'en nourrir.

C'est ce qu'expliquèrent des expériences fort intéressantes faites en Angleterre. En 1848, MM. Huxtable et Thompson découvrirent dans la terre arable une propriété nouvelle, celle de fixer certains éléments des engrais. Ces chimistes montrèrent que, si on faisait filtrer des eaux chargées de sels ammoniacaux au travers d'une terre arable argileuse, l'ammoniaque était retenue, et que l'eau filtrée en était complétement dépouillée ; une nouvelle quantité d'eau n'arrachait à la terre arable qu'une très-faible portion de l'ammoniaque ainsi fixée. Or, pour qu'une substance quelconque pénètre dans une plante, il faut qu'elle soit dissoute. Cette ammoniaque engagée dans une combinaison qui la rend insoluble est donc maintenant incapable d'être assimilée.

Ainsi dans le sol arable l'azote se trouvera sous plusieurs formes différentes ; il sera encore à l'état de sel ammoniacal et il pourra être assimilé par les plantes : tel est en partie celui que le fumier apportera ; mais il pourra être aussi, selon M. Way, à l'état de combinaison avec l'argile; retenu seulement par l'humus selon M. Brustlein, il pourra entrer dans la constitution de matières organiques encore mal définies, et alors les plantes ne pourront plus se l'assimiler.

C'est, au reste, ce que M. Boussingault a mis hors de doute dans des expériences récentes. Cherchant sur ce sujet non plus, comme il disait, l'opinion des savants, mais celle des plantes, il prit une terre très-fertile, en pesa une certaine quantité et l'introduisit dans un pot de terre préalablement porté à une chaleur rouge, de façon à détruire toutes les matières azotées qu'il aurait pu contenir. Une analyse exécutée sur une quantité de terre égale à celle qui avait été introduite dans le creuset décela 0 gramme 339 milligrammes d'azote ; c'était plus qu'il n'en fallait pour favoriser le

développement d'une graine de lupin qui y fut plantée. — La graine germa, le lupin se développa, mais de la façon la plus chétive, comme s'il avait poussé dans une terre absolument stérile. C'était une de ces végétations rabougries que M. Boussingault a si bien caractérisées sous le nom de *plante limite*. On fit l'analyse de cette petite plante; on reconnut que sur les 339 milligrammes que contenait la terre, 2 milligrammes seulement avaient été fixés pendant la végétation.

A côté cependant, dans une plante-bande du potager d'où provenait la terre, les lupins présentaient une végétation vigoureuse et normale. Des expériences entreprises avec les haricots nains ont fourni des résultats analogues : très-mauvaise récolte dans le creuset-pot, végétation normale dans la plante-bande du jardin.

Que conclure ? C'est que, ainsi que nous l'avons dit, tout l'azote qui se trouve dans la terre arable n'est pas entièrement et actuellement assimilable, qu'une très-faible fraction est seule dans cet état où il peut servir à la nutrition de la plante. Cette très-faible fraction de l'azote total n'existait dans la petite quantité de terre du creuset-pot qu'en très-minime proportion : de là l'avortement de la récolte. Dans la terre du jardin où les plantes ont bien poussé, il n'existait aussi qu'une faible portion d'azote à l'état assimilable ; mais la plante, ayant à sa disposition une quantité de terre arable beaucoup plus grande que dans le creuset-pot, a pu trouver une quantité suffisante d'azote assimilable.

Il fallait dès lors employer dans l'analyse des terres arables, dans le dosage de l'azote qu'elles renferment, des procédés plus délicats que ceux qui avaient été mis en œuvre ; il fallait pouvoir distinguer dans l'azote total trouvé jusqu'alors celui qui faisait partie d'un sel ammoniacal et qui pouvait être assimilé de celui qui, engagé dans une combinaison insoluble, ne pouvait être actuellement à la disposition des plantes.

M. Boussingault est arrivé à faire cette distinction en substituant à la soude et à la chaux, bases puissantes qui détruisent toute matière azotée, une base plus faible, la magnésie, qui ne porte son action que sur le sel ammoniacal, si, au lieu de chauffer au rouge la terre à expérimenter, comme on a fait jusqu'à présent, on chauffe seulement jusqu'à l'ébullition de l'eau.

La quantité d'ammoniaque ainsi contenue dans le sol est très-faible ; sur les 13,689 kilogrammes d'azote que renferme la terre

d'un hectare d'un potager d'Alsace, il n'y a que 104 kilogrammes à l'état d'ammoniaque; une autre terre, très-fertile, prise également en Alsace, ne renferme par hectare, sur 6,454 kilogrammes d'azote, que 42 kilogrammes d'ammoniaque.

Voilà donc une partie de la querelle vidée; oui, la terre renferme, comme le disait M. Liebig, une quantité d'azote considérable; mais, sur cette quantité, il n'en est qu'une très-faible actuellement assimilable, et les engrais azotés viennent ajouter leur contingent à cette faible portion pour permettre à la terre de mettre actuellement à la disposition des plantes une quantité suffisante de principes azotés; bien certainement toute l'ammoniaque qu'il renferme ne sera pas immédiatement assimilée, la terre en prélèvera une partie pour son fonds de réserve, mais une partie aussi échappera à cette action et restera à l'état soluble.

Est-ce donc seulement sous la forme de sel ammoniacal que les plantes peuvent absorber l'azote? Non, des expériences nombreuses ont établi que les nitrates, c'est-à-dire les combinaisons dans lesquelles l'azote est uni à l'oxygène, sont aussi très-facilement absorbés et produisent des effets remarquables. Au dix-septième et au dix-huitième siècle, il est question de l'emploi du nitre en agriculture et des magnifiques récoltes de froment ou de chanvre qui résultent de son emploi[1]. De nombreuses expériences dues à MM. Kulhmann, Boussingault, G. Ville, ont démontré de nouveau récemment que

[1] Ope salis nitri, infusi per aquam et mixti cum aliqua alia apta terrestri substantia, quæ id nonnihil familiarum reddere potest cum frumento, in quod salis nitrum introducere conabar, effeci ut sterilissimus ager in producendo admirandam et copiosam messem, fertilissimum et ditissimum superaret. Vidi semen cannabinum hoc liquore humectatum, quod debito tempore tales ac tantas plantas producebat, ut præ magnitudine et duritie, earum potius parvam sylvam decem annorum ad minimum quam veram cannabim ementirentur. (*Dissertatio de plantarum vegetatione*, per Kesselnuns Dygbæum, 1660. *Ex Anglica in linguam Latinam versa*. Amsterdam, 1663.)

La rosée et la pluie apportent beaucoup de salpêtre dans la terre, et semble que les nuées ne soient étendues devant la face du soleil qu'afin d'imbiber une partie de son influence, ou bien afin qu'il s'engendre dans leur sein un sel pour augmenter la fertilité de la terre. Et certainement elles ne s'en reviennent pas sans bénédiction, car enfin j'ai extrait plus d'une fois du salpêtre de la pluie et de la rosée; mais la rosée en donne davantage. Les eaux dormantes, les eaux des puits profonds, contiennent toutes un peu de salpêtre; mais ce qu'il y a de certain, c'est que, si la superficie de la terre n'était imprégnée de ce sel, elle ne produirait aucune plante. (H. Heushan, cité par l'abbé de Vallemont. *Curiosités de la nature*, Bruxelles, 1734.)

les effets du nitre étaient égaux et même supérieurs à ceux des sels ammoniacaux.

Il est bien certain, au reste, que la terre arable renferme des quantités de nitre très-appréciables, dues surtout à l'action de l'air et des terres alcalines sur les matières organiques du fumier. M. Boussingault a trouvé que la terre arable d'un potager très-fortement fumée pouvait contenir, après une longue sécheresse, jusqu'à 1,055 kilogrammes de salpêtre par hectare; c'est là une proportion très-considérable qui diminue, au reste, par les temps de pluie, où l'eau entraîne le nitre dans le sous-sol, d'où il remonte probablement ensuite par capillarité jusqu'à la surface. Une terre arable, fortement fumée, se trouve, en effet, dans des circonstances tout à fait analogues à celles d'une nitrière artificielle. Il y a de l'air, des matières alcalines, des matières azotées et une certaine humidité; ce n'est pas en mélangeant d'autres matières que, pendant les guerres de l'Empire, on fabriquait en France le nitre que le commerce ne pouvait plus aller chercher dans l'Inde, et c'est encore par le même procédé que le gouvernement russe force, dit-on, les paysans à transformer en salpêtre une partie de leurs fumiers.

Cette combustion lente des matières azotées du sol par l'oxygène de l'air est singulièrement favorisée par un principe récemment découvert, l'ozone ou oxygène naissant, qui, d'après les recherches de M. Houzeau, existe constamment dans l'air de la campagne, et brûle directement l'ammoniaque pour la transformer en acide azotique.

Cette cause vient s'ajouter à celle qu'avait pour la première fois signalée Cavendish, l'union de l'oxygène et de l'azote sous l'influence de l'étincelle électrique, et leur transformation en acide azotique. On comprendra dès lors que M. Barral ait pu trouver constamment dans l'eau de la pluie une certaine quantité d'acide azotique.

M. Paul Thénard a montré aussi récemment que le sesquioxyde de fer, qui donne à notre terre arable sa couleur brune, était un puissant agent de nitrification; par son contact avec les matières azotées, il leur cède de l'oxygène, les brûle, les transforme en nitrate, puis reprend de l'oxygène à l'air pour se désoxyder de nouveau et céder encore cet oxygène nouvellement acquis.

Bien d'autres observateurs encore ont apporté quelques faits à

cette intéressante théorie de la nitrification : MM. Kuhlmann, de Luca, Cloez, Guignet et Millon ont particulièrement contribué à l'éclairer complétement.

Nous venons de montrer par combien de phases différentes a passé la découverte des conditions dans lesquelles a lieu l'assimilation de l'azote par les plantes. Avant d'arriver à bien connaître la marche que suivent les phosphates, on a accumulé aussi un grand nombre de travaux.

Le phosphate de chaux généralement employé comme engrais est complétement insoluble dans l'eau; mais M. Dumas, puis M. Lassaigne montrèrent, en 1846, qu'il se dissout facilement dans l'eau chargée d'acide carbonique; on admit dès lors, sans plus ample information, que le phosphate de chaux contenu dans le sol se dissolvait dans l'eau chargée d'acide carbonique, et pénétrait ainsi dans les plantes.

On en était là quand, en 1858, M. P. Thénard, le premier, précisa un phénomène très-intéressant pour la théorie de l'assimilation de l'acide phosphorique, que M. Liebig avait probablement aperçu déjà, lorsqu'il dit que la terre végétale enlève l'acide phosphoriqne aux dissolutions qui en renferment.

En faisant l'analyse d'un certain nombre de sols provenant de débris de terrains jurassiques, M. le baron P. Thénard avait trouvé tout l'acide phosphorique à l'état insoluble dans l'acide carbonique.

Sur sept échantillons de terre arable que j'analysai pour vérifier l'observation de M. Thénard, deux seulement me donnèrent de très-faibles quantités de phosphates solubles dans l'acide carbonique ou dans l'acide acétique[1].

M. P. Thénard avait expliqué la transformation du phosphate de chaux soluble dans l'acide carbonique en phosphate insoluble, par l'action du sesqui-oxyde de fer ou de l'alumine, qui paraissent jouir d'une grande affinité pour cet acide, et qui, lorsqu'ils dominent, l'enlèvent facilement à la chaux.

Ainsi, de même que l'azote est engagé dans des combinaisons où les plantes ne peuvent le saisir, de même l'autre élément de fertilité, qui fait le plus habituellement défaut, l'acide phosphorique, est soustrait aussi aux actions dissolvantes qui pourraient le faire pénétrer dans les racines.

[1] *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates.*

Comment expliquer cependant que l'acide phosphorique soit en réalité assimilé, ce dont on ne peut douter, puisqu'on le rencontre dans presque toutes les plantes? J'ai trouvé cette explication dans l'action remarquable qu'exercent les carbonates sur les phosphates à base de sesqui-oxyde. Si on met en contact, en effet, du carbonate de potasse qui, provenant de la décomposition des granites, existe, comme nous l'avons vu, dans le sol arable, du carbonate d'ammoniaque produit de la décomposition des matières azotées ou même du carbonate de chaux avec ces phosphates à base de sesqui-oxyde, l'acide phosphorique change de base de nouveau et redevient soluble. De même que les sesqui-oxydes en excès arrachent l'acide phosphorique aux phosphates tenus en dissolution dans l'eau pure ou chargée d'acide carbonique, de même les carbonates solubles dans l'eau ou l'acide carbonique viennent, quand ils sont en excès, reprendre l'acide phosphorique aux sesqui-oxydes qui l'avaient précipité.

Nous ne savons si le lecteur a pu suivre les détails un peu techniques qui précèdent; ils étaient nécessaires toutefois pour faire comprendre combien est remarquable le rôle de la terre arable.

Nous l'avons dit, elle renferme, cette mère nourrice, tous les éléments nécessaires à la fertilité, mais elle les cache, les accumule, les conserve précieusement; on a beau les lui prodiguer toujours, elle les enfouit pour les rendre seulement par parcelles, par fragments, à mesure des besoins.

Il faut la forcer pour qu'elle les livre; on chaule, on marne, par exemple; or, nous l'avons vu plus haut, il est démontré que le carbonate de chaux en excès décompose les phosphates à base de sesqui-oxyde, les phosphates enfouis, la richesse de l'avenir, de façon à les mettre actuellement à la disposition des plantes; la récolte sera belle certainement, mais prenons garde, l'acide phosphorique est mobibilisé maintenant, il est fluide pour ainsi dire, et peut être entraîné; le proverbe le dit : La marne enrichit le père, mais ruine les enfants.

Elle a bien d'autres effets, au reste; elle agit certainement aussi sur ces matières azotées enfouies dans le sol, et qui ne sont pas encore sous une forme assimilable, c'est l'opinion de M. Boussingault. — Le chaulage, le marnage, peuvent avoir deux effets différents sur la matière azotée : ou bien ils la décomposent simplement,

de façon à en faire surgir l'ammoniaque, ou bien encore ils peuvent exciter sa combustion, sa transformation en acide nitrique, autre forme également propice à l'assimilation[1]. Mais, dans ce dernier cas, la chaux ne suffit pas; il faut encore l'accès de l'air, il faut que cette matière azotée puisse s'oxygéner, il faut qu'elle se brûle, il faut donc qu'elle arrive à l'air, à la lumière, de là la nécessité des labours, des mille façons qu'on donne au sol pour y faire pénétrer les gaz vivifiants de l'atmosphère.

C'est certainement à leur action, s'exerçant sur les matières azotées accumulées dans le sol, que sont dues ces récoltes remarquables qu'on peut obtenir d'un sol très-bien travaillé, mais non engraissé. — Jethro Tull avait essayé, il y a cent ans, de préconiser ce système en Angleterre; récemment encore les journaux agricoles citaient les intéressantes cultures du pasteur Smith, à Loïs Veedon, qui obtient depuis quinze ans de bonnes récoltes de blé sur le même champ, qu'il ne fume jamais, mais qu'il travaille très-bien.

Avons-nous donc le droit maintenant de critiquer, avec la superbe du demi-savant, l'usage des jachères, qui se maintient malgré tout dans certains pays très-argileux? L'expérience a prouvé qu'il y avait profit à suivre cette pratique, et la science indique maintenant qu'il est nécessaire de laisser à tous les principes insolubles qui existent dans le sol le temps de se brûler, de se métamorphoser pour que les plantes puissent s'en nourrir; elle démontre en plus que l'air humide peut enlever à la terre arable l'ammoniaque fixée, qu'il facilite la formation de dissolutions ammoniaciales très-étendues, qui circulent alors librement dans le sol; ainsi, pour que la terre porte ses fruits, il faut la remuer, la retourner, l'aérer...

Pour la science moderne, comme pour la poésie antique, le premier instrument de l'agriculture est la charrue; nous l'avons dit, la terre est une mère avare, qui craint les fils prodigues, qui se refuse d'abord à rendre ce qui lui a été confié, mais qui cède toujours cependant à la suprême force de ce monde, au travail.

[1] Voir, dans les *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, n° 6, septembre 1861, un Mémoire de M. Boussingault.

P. P. Dehérain.

II

LES CHARRUES A VAPEUR

A PROPOS DE L'EXPOSITION DE LEEDS.

I

Une pioche grossière, formée par deux morceaux de bois et portant une pointe durcie au feu, fut le premier outil qu'employèrent les hommes pour remuer la terre. A cette époque reculée, où la nature ne marchandait pas ses faveurs à ses premiers enfants, il suffisait presque de jeter les semences au hasard pour recueillir d'abondantes moissons. Mais, lorsque les hommes, devenus trop nombreux pour continuer à habiter exclusivement les régions fertiles où s'étaient établis leurs pères, durent coloniser des contrées moins heureuses et se disperser loin du berceau de la civilisation primitive, les instruments rudimentaires qui constituaient tout l'arsenal agricole de l'âge d'or devinrent promptement insuffisants. Stimulé bientôt par les besoins nouveaux que ces migrations inévitables avaient suscités, un inventeur conçut l'idée hardie d'attacher un robuste taureau au manche du pic que ses ancêtres avaient laborieusement traîné à la surface du sol. Bientôt un laboureur de génie ajouta à ce premier engin d'une agriculture plus savante une espèce de gouvernail qui le rendait maître des mouvements de son attelage. Alors le cultivateur put à son gré aiguillonner son nouvel esclave, maîtriser complétement tous ses écarts, et la charrue, transformée, mérita d'être prise comme le symbole du travail et de la paix.

Dès ses premiers pas la nature produit des œuvres parfaites; mais il n'en est pas ainsi de l'esprit humain, qui crée lentement, progressivement, et qui n'est éclairé par le souffle inspirateur qu'après avoir épuisé toute une série de combinaisons préparatoires. Pas plus que les autres instruments du progrès, la charrue n'est sortie tout armée du cerveau des inventeurs. Chaque nation initiatrice a donné successivement une forme plus rationnelle au mancheron, au soc, aux différentes parties de l'admirable machine que les Chi-

nois ont eu la sagesse d'honorer comme un des plus précieux présents du ciel.

Le dix-neuvième siècle ne pouvait rester en arrière sans manquer à sa mission. La science moderne se fût montrée, pour ainsi dire, indigne d'elle-même, si elle eût négligé de perfectionner l'art du laboureur, c'est-à-dire le premier et le plus utile de tous.

L'activité humaine doit s'efforcer d'utiliser à son profit les richesses naturelles que recèle le globe; il est indispensable que le fer de la charrue pénètre dans la riche couche de terre arable où sont déposés les trésors que l'action lente des agents atmosphériques a accumulés. Les substances que les neiges, les glaces, les eaux, les tremblements de terre, ont arrachées grain à grain dormiraient inutiles, si la main industrieuse d'un ouvrier intelligent ne venait, pour ainsi dire, leur donner le sacrement du travail.

Comme l'a dit un poëte, la mission du cultivateur est d'aider à la respiration de Cérès. Son bras infatigable doit entretenir l'incessante circulation de l'air atmosphérique, permettre au gaz oxygène de brûler les molécules de l'humus, ouvrir les mille canaux secrets par lesquels pénètrent l'ammoniaque, l'acide carbonique, enfin la chaleur, et, jusqu'à un certain point, les rayons égarés de la lumière diffuse.

Si malheureusement l'homme se fatiguait de son rôle de *seconde providence* de la végétation, la physionomie des centres de production agricole perdrait rapidement cet aspect heureux et prospère qui chasse loin du cœur du citadin les préoccupations de la vie fiévreuse des villes. Bientôt les campagnes, inondées d'eaux stagnantes, seraient dépeuplées par des miasmes empoisonnés; des herbes inutiles ou malsaines infecteraient les plaines que recouvrent de gras pâturages, d'inépuisables moissons.

Nous devons donc suivre avec une anxieuse sollicitude les travaux des ingénieurs distingués qui ont entrepris la difficile et glorieuse mission d'appliquer à l'agriculture les procédés les plus subtils de la mécanique moderne, et qui se sont proposé de rendre plus rapides, plus parfaites et plus promptes les manipulations nécessaires pour préparer le sol à recevoir la semence.

L'amélioration des voies de communication et le perfectionnement des transports sur mer empêcheront dorénavant le retour de ces terribles famines qui décimaient jadis des populations. Quoi qu'il arrive, l'Europe ne traversera jamais des périodes calamiteuses

comme celle que l'Inde a supportée l'an dernier. Mais combien serait superficiel et insuffisant le progrès qui se bornerait à augmenter la facilité du transport des grains! Si, par malheur dans une année exceptionnellement calamiteuse il fallait nourrir la France entière avec des blés étrangers, un pareil travail excéderait probablement toutes les forces humaines. Soixante ou quatre-vingts millions d'hectolitres ne se transportent jamais d'un point à un autre sans avoir à surmonter de prodigieuses difficultés. D'un autre côté, les trésors de l'État le plus riche et le mieux centralisé du monde ne suffiraient pas pour acheter les montagnes de céréales que dévore annuellement le peuple français [1].

Étudions donc avec quelques détails la construction du plus puissant des engins nouveaux à l'aide desquels l'agronomie scientifique peut empêcher le retour des crises alimentaires, qui sont heureusement à la veille de disparaître de l'histoire des nations modernes.

A la dernière exposition internationale de 1855, on ne comptait pas moins de deux cent seize charrues différentes, simples araires, piocheuses, rigoleuses, tourne-oreilles, déchausseuses, fouilleuses, etc.

Au premier abord il peut paraître étrange qu'un instrument aussi simple puisse donner lieu à autant de recherches que les organes les plus délicats des filatures. Mais il ne suffit pas de promener à la surface du sol meuble une pointe de fer ou d'acier; la forme de l'outil doit être calculée de telle façon, que la terre soit réellement bouleversée et que les parties profondes qui n'ont pas encore subi l'action oxydante de l'air recouvrent celles où la dernière récolte a puisé les éléments minéraux indispensables à la constitution des plantes. Il faut que le laboureur puisse tenir en main un véritable gouvernail qui lui permette de se détourner des pierres comme le navigateur évite les écueils, qu'il sache graduer les efforts de ses chevaux ou de ses bœufs pour triompher d'une résistance qui peut varier facilement du simple au triple, suivant la composition du sol; qu'il n'oublie jamais qu'une simple modification dans la courbe offerte par les versoirs peut diminuer de cinquante pour cent l'effort nécessaire pour tracer un sillon de profondeur et de largeur déterminées.

[1] Voir *Chimie appliquée* : la Panification.

En Angleterre, comme en France, la charrue romaine introduite à la suite de la conquête, a été pendant longtemps le seul instrument attelé servant à la culture du sol. Plus tard est venue la charrue saxonne, lourde et informe machine munie d'un avant-train et d'un versoir fixe; puis la charrue normande, pourvue d'organes analogues, mais pourtant moins défectueuse, a fait son apparition. Ces trois instruments semblaient avoir passé sans changement bien notable de génération en génération jusqu'à la fin du dix-septième siècle, époque à laquelle un agriculteur nommé Walter Blythe, déjà connu par quelques écrits, fit venir une charrue de Hollande. Depuis ce moment, l'agriculture anglaise a noblement regagné le temps perdu, et les araires britanniques, successivement perfectionnées par Small, Wilkens, Fynloson, et un nombre infini d'agronomes, ont opéré une véritable révolution dans l'agriculture des pays où elles ont été introduites, tandis qu'en France Mathieu de Dombasle nous donnait sa grande charrue, presque exclusivement employée aujourd'hui au-dessus de la Loire. Mais la vapeur est une force incomparablement plus économique que les bœufs ou que les chevaux, surtout dans une contrée comme l'Angleterre, où la main-d'œuvre est chère, où la population rurale ne forme pas plus du quart de la population totale. Tant que l'homme n'aura pas épuisé les dépôts de combustibles fossiles accumulés par la nature pendant des milliers d'années, il aura à sa disposition des moyens bien plus énergiques de produire toute espèce d'efforts.

« Si on calcule, dit le professeur Rogers, la force virtuellement renfermée dans une couche de houille dont la surface serait d'un hectare et dont la puissance serait d'un mètre, on trouvera qu'en brûlant cette masse de charbon dans le fourneau de machines ordinaires, on peut produire autant d'effort mécanique que plus de cinq mille hommes robustes travaillant sans interruption pendant toute leur vie, que sept à huit cents chevaux dont la nourriture exigerait de cultiver des prairies d'une énorme superficie. »

L'Angleterre, dans ses mines de charbon, possède une force mécanique bien plus grande, et surtout bien plus économique, que celle que pourraient produire tous les hommes adultes qui couvrent la surface de la terre, réunis à tous les chevaux et tous les mulets du monde.

L'application de la vapeur à l'agriculture devait donc être un problème favori des chercheurs dans le pays de Watt. Aussi les commissaires des patentes ont-ils pu réunir un volume extraordinairement curieux et instructif en publiant plus de trois cents spécifications de brevets relatifs au labourage à vapeur et pris en Angleterre depuis la fin du siècle dernier. Mais, malgré ces nombreuses tentatives, ce n'est pas à des agriculteurs anglais que revient l'honneur d'avoir inauguré le labourage à vapeur ; cette tentative hardie a eu lieu pour la première fois en Amérique, d'où nous sont venues déjà tant d'inventions utiles, comme si le nouveau monde voulait se hâter de s'acquitter envers l'ancien continent de la dette d'honneur qu'il a contractée. Toutefois, si ce n'est point dans le Royaume-Uni qu'ont été faites les premières applications réelles des instruments nouveaux, c'est dans ce pays intelligent et pratique qu'ont été conçus les perfectionnements indispensables pour approprier ces appareils aux besoins spéciaux de l'agriculture européenne.

Il en est, en effet, des charrues à vapeur comme des faucheuses et des moissonneuses ; nous ne pouvons les accepter sous la forme un peu grossière qui convient dans un pays où l'homme trouve devant lui des espaces infinis; où la main-d'œuvre est rare et chère, où chaque paysan est habitué à se suffire à lui-même ; ce serait nous exposer à des mécomptes sans cesse renouvelés que de transporter dans les campagnes populeuses d'Europe les machines qui fonctionnent à merveille entre les mains des pionniers yankee. Il faut nous assimiler en quelque sorte ces conquêtes de la mécanique moderne, et leur donner l'empreinte de notre génie national. Les Anglais ont commencé ce grand travail de naturalisation et ont complétement réussi. Ne sera-t-il pas nécessaire que nous introduisions à notre tour quelques modifications indispensables pour mettre la charrue à vapeur à la portée de nos agriculteurs, aussi intelligents peut-être, mais moins riches que les agriculteurs anglais?

Malgré le changement incontestable qui éclate dans tous les concours régionaux et universels, nous sommes loin d'être encore parvenus jusqu'aux limites du progrès agricole. En effet, dans l'état actuel des choses, on peut admettre que les charrues françaises remorquent annuellement à la surface du sol national une longueur totale de 48 millions de kilomètres de sillons, de dimen-

sions variables, suivant la nature des terres et l'industrie des fermiers. Nos bœufs et nos chevaux, traînant péniblement une lourde machine qui résiste à chaque mouvement, et foulant un sol fangeux sur lequel leurs pieds ont peine à trouver un point d'appui solide, parcourent chaque douze mois une route assez longue pour faire mille fois le tour de la terre.

Les araires français déplacent annuellement un volume de 960 millions de mètres cubes de terre, pesant chacun plus de 1,000 kilogrammes. Si l'on réunissait cette masse arrachée malgré la résistance qu'offre la couche superficielle, les racines des plantes, enfin l'adhérence naturelle des molécules, on pourrait recouvrir la surface de Paris d'une couche uniforme sous laquelle disparaîtraient les monuments les plus élevés.

Un effort mécanique aussi considérable exige évidemment des moyens d'action prodigieux. M. Maurice Block estime qu'en France seulement l'armée agricole employée quotidiennement aux travaux des champs se compose de 1,450,000 chevaux, 173,000 mulets, 220,000 ânes, 1,680,000 bœufs, 1,370,000 vaches. En tout, l'agriculture occupe un effectif de 5 millions de têtes de bétail, dont la nourriture coûte au moins 7 à 8 millions de francs par jour, c'est-à-dire représente une valeur en numéraire supérieure au budget général de l'État.

Il suffit de réaliser une économie de vingt, de quinze, de dix pour cent, pour gagner autant d'or à la France que l'Australie en produit dans une année. Tout est gigantesque dans une industrie qui touche à tout, parce qu'elle s'occupe de subvenir à nos besoins élémentaires et primordiaux.

Que sont devenus les pipeaux de Théocrite? où sont les bergères poudrées, pomponnées de Florian, et les houlettes à ruban rose? Les échos du Yorkshire retentissent d'un sifflement aigu; un panache de fumée s'élève et se perd dans les cieux; l'oreille distingue le ronflement d'un volant découpé à jour et tournant à grande vitesse; puis un bruit de poulies, de roues et de cordages attachés à une machine que dirige un robuste chauffeur tout noirci de charbon.

Bientôt sans doute la charrue à vapeur, que les Anglais emploient déjà sur une grande échelle, viendra troubler aussi chez nous les rêveries des amateurs de la simplicité rustique. En effet, on a déjà essayé un certain nombre d'appareils sur les domaines

impériaux, dans les grandes solennités agricoles. A Vincennes, à Fouilleuse, à Trappes, à Metz, la foule curieuse a pu voir des sillons s'ouvrir avec une surprenante rapidité, souvent dans un sol desséché sur lequel les charrues ordinaires n'auraient jamais pu mordre.

Mais n'avons-nous pas le droit de dédaigner les plaintes de nos poëtes bucoliques, en songeant que ces machines bruyantes réaliseront dans l'industrie des champs des merveilles analogues à celles que leurs aînées ont déjà produites dans nos fabriques, dans nos chemins de fer, dans nos bateaux à vapeur?

II

Les charrues à vapeur peuvent être divisées en deux grandes classes : les unes se meuvent à la surface du sol, au moyen même de la vapeur, elles transportent avec elles et les chaudières destinées à produire la force, et les socs qui doivent ouvrir la terre; les autres, au contraire, se séparent en deux systèmes complétement différents : tandis que la machine à vapeur reste fixe en un point du champ, elle fait mouvoir la charrue elle-même à sa surface, à l'aide de procédés divers. Occupons-nous d'abord du premier système.

Au lieu de glisser rapidement sur des rails, comme les machines des chemins de fer, la locomotive des champs est assujettie à se traîner sur un sol souvent fangeux. Aussi, en place de roues dont la jante ne possède que quelques centimètres d'épaisseur, cet appareil tardigrade est-il armé de deux larges cylindres qui ne peuvent enfoncer dans la terre humide, et qui soutiennent un fardeau qui pèse plusieurs milliers de kilogrammes, comme les planches attachées au pied d'un chasseur l'empêchent de disparaître dans la vase, ou comme les appendices membraneux des pattes de certains échassiers leur permettent de marcher sur des boues à peine consolidées.

Une roue placée à l'avant de l'appareil et mobile autour d'un pivot se manœuvre au moyen d'une barre qui permet de changer à chaque instant la direction du mouvement; nul cheval n'a la bouche aussi sensible, nul bœuf n'est aussi doux à l'aiguillon. A l'arrière, la pesante machine porte une série de socs qui entrent

profondément dans la terre, et qui laissent derrière eux autant de larges sillons. On dirait les griffes d'un animal fabuleux grattant le sol avec une force de dix ou douze chevaux, dont la patte redoutable serait armée d'ongles que ni le roc ni le sable ne pourraient user !

Quelques constructeurs remplacent les socs fixes par un tambour attaché à l'arrière-train, qui tourne autour d'un axe perpendiculaire à la direction des roues. Ce tambour, garni de dents qui hérissent son pourtour ou revêtu d'un filet saillant hélicoïdal analogue à celui d'une vis d'Archimède, est animé au moyen d'une dérivation spéciale de la force motrice, et tourne en sens inverse des roues. La terre, prise entre ces deux rotations, est donc fouillée, remuée, labourée dans tous les sens, comme la surface de l'Océan, où l'hélice creuse le sillon des navires.

On voit facilement que l'effet de ces deux déchirements se superpose ; au lieu de simples pointes de fer, qui pénètrent plus ou moins difficilement dans la couche arable et qui jouent pour ainsi dire un rôle inerte, la *charrue locomotive* agit directement sur la terre, la renverse, la triture, et ajoute son action à celle de l'arrachement produit par la translation de tout le système.

Parmi les inventeurs qui ont cherché à triompher des difficultés qu'offre l'application de cette ingénieuse conception, nous devons citer M. James Lesher, d'Édimbourg. Dès 1849 il eut l'honneur de mettre en mouvement une machine pesant 6,500 kilogrammes et possédant une force totale de 10 chevaux. En 1851, ce mécanicien recommença des essais qui n'avaient pas donné des résultats suffisants, et parvint, paraît-il, à labourer un champ à Middy-Chaine, près d'Édimbourg, dans des conditions assez avantageuses. Dans cette même année, un autre ingénieur, M. John Bethell, construisit un appareil analogue, à l'aide duquel il exécuta des expériences publiques devant la Société des arts. Enfin, en 1855, M. Robert Romaine, de Péterborough, dans le Canada, prit un brevet pour une machine qui figura dans plusieurs expositions, notamment dans celle de Leeds, dont nous allons avoir à nous occuper.

Pendant que les charrues du système américain donnaient lieu à tous ces travaux, d'autres procédés, complétement différents, faisaient leur apparition dans le monde agricole.

En 1855, M. Halkett fit patenter un système très-original et

très-hardi. L'inventeur, attaquant de front la seule difficulté réelle que présente l'application de la vapeur au travail des champs, celle de répandre sur une vaste surface les efforts mécaniques qu'il est difficile, pour ainsi dire, de disperser çà et là, proposait purement et simplement de couvrir la terre arable d'un vaste réseau de rails sur lesquels marcheraient les engins destinés à donner toutes les façons nécessaires.

Pour diminuer autant que possible le nombre des rails, M. Halkett construisit, au lieu d'une simple locomotive, un chariot ou cadre porté par quatre énormes roues, auquel il donna les dimensions les plus considérables auxquelles il lui fut possible d'arriver, c'est-à-dire une vingtaine de mètres de long et autant de large. Dans un coin de cette usine ambulante se trouve une machine à vapeur de la force de plusieurs chevaux. Les quatre côtés du cadre sont reliés par des tiges le long desquelles courent des poulies destinées aux transmissions de mouvement, de sorte que le mécanicien peut appliquer la force dont il dispose à un point quelconque de la surface que recouvre son immense véhicule. Tout est combiné de manière à diminuer les déplacements de la machine, car elle renferme des appareils pour labourer, herser, semer, distribuer les engrais, arroser, arracher les racines, faire la récolte, battre le blé. L'agriculteur traîne avec lui tout son arsenal, et même jusqu'à sa maison; une cabane construite dans un coin permet aux ouvriers de se garantir contre les intempéries des saisons.

Lorsque l'ouvrage est parfaitement terminé dans une case, il suffit de pousser le cadre jusqu'au carré suivant pour y faire les mêmes opérations. Un mécanisme très-ingénieux permet de passer de deux rails aux rails voisins, sans perdre trop de temps, de sorte que, voyageant de proche en proche, comme sur les casiers d'un échiquier, la machine vient successivement labourer toute la propriété.

Une compagnie importante n'a pas craint de hasarder des capitaux considérables pour l'exploitation d'une conception aussi coûteuse que grandiose. Quelques propriétaires enthousiastes n'ont pas reculé devant les travaux préalables indispensables pour savoir s'il est logique de barder de fer les plaines de la fertile Albion. Les résultats des expériences paraissent avoir démontré que l'économie réalisable est très-importante. Une fois l'installation complétée, le prix de la main-d'œuvre tombe bien au-dessous de ce

qu'il est dans les circonstances ordinaires. Tout est disposé pour donner rapidement à la terre une culture aussi parfaite que dans les jardins des maraîchers. Mais au prix de quels sacrifices sont obtenus de si grands avantages? Il ne suffirait peut-être pas de 1,000 francs par hectare pour disposer convenablement les rails; que de milliards devraient être engloutis avant qu'un aussi vaste pays que la France pût être admis à jouir des bienfaits de l'agriculture à vapeur, si l'on était condamné à employer un aussi ruineux moyen d'en populariser l'usage!

Il est vrai, M. Graffton, ingénieur de la *Société Halkett*, a eu l'idée de supprimer les rails fixes et de les remplacer par de grands rails mobiles, repliés autour des roues, et qui se développent sur le sol à mesure que l'appareil se déplace.

Mais les anciennes voitures de M. Halkett, déjà fort compliquées dans le système primitif, sont bien loin d'être simplifiées par une pareille adjonction, et l'économie que M. Graffton propose de réaliser en traînant les rails en même temps que le chariot ne s'achète pas, on en conviendra, sans quelques sacrifices.

III

L'Américain Pikes a exposé, au Palais de cristal de 1851, une des premières combinaisons du second système; cet inventeur propose d'établir au centre même du champ qu'il s'agit de cultiver une pompe aspirante communiquant avec un réseau de conduits en fonte qu'on a enfouis dans le sol. De loin en loin, par exemple de cent mètres en cent mètres, on a soudé des tubes verticaux portant des robinets qu'on peut fermer à volonté. Supposons qu'on ouvre un quelconque de ces obturateurs, et qu'on fasse marcher la machine centrale, on produira une aspiration d'air et par conséquent une force motrice utilisable à cet orifice. Il suffira donc, pour atteindre successivement tous les points du terrain à labourer, d'adapter successivement aux différents robinets une manche en caoutchouc, à l'extrémité de laquelle se mouvra le piston d'une petite machine locomobile se déplaçant dans un cercle de soixante-dix mètres de rayon.

C'est au moyen d'une disposition analogue appliquée à l'expansion de la vapeur qu'on a exécuté dernièrement le pavage de la rue Croix-des-Petits-Champs, et que les Américains font marcher la

scie mécanique à l'aide de laquelle ils abattent les arbres les plus gigantesques qui forment l'ornement de leurs forêts. Dans ces deux cas, le piston se trouve au bout d'un tube flexible qui permet soit de l'appliquer au tronc que l'on veut couper, soit de le placer au-dessus de la partie du sol que l'on veut battre.

Les instruments d'agriculture poussés par l'aspiration de l'air agiraient en vertu des mêmes principes; le laboureur verrait les sillons se tracer comme les pionniers voient le fer de leur scie s'enfoncer dans le bois des arbres condamnés à périr, comme les Parisiens voyaient le béton de la rue mise en expérience s'aplanir de manière à recevoir une couche de pavés. On peut encore remarquer que le système imaginé par M. Pikes offre quelque analogie avec les chemins de fer atmosphériques, tels que celui qui a fait si longtemps le service entre le Pecq et Saint-Germain. Seulement le conduit à soupape horizontale est remplacé par le tube flexible qui suit fidèlement la charrue dans toutes ses évolutions.

Depuis l'époque où cette idée a été proposée pour la première fois, on a essayé à plusieurs reprises de tirer parti de l'élasticité de l'air pour transmettre les efforts à distance, et l'on a réussi à produire régulièrement des effets très-remarquables. Ainsi, les Anglais se servent actuellement d'une pompe aspirante et foulante pour transporter les dépêches au moyen de tubes fermés dans lesquels on les introduit. Peut-être le système de l'Américain Pikes mériterait-il, lui aussi, les honneurs d'une étude approfondie et d'une expérimentation sérieuse.

Au lieu de chercher à transmettre le mouvement sur toute la surface d'un champ, en envoyant la force motrice à l'endroit même où elle doit être utilisée, on peut résoudre le même problème avec des cordes sans fin sur lesquelles seront amarrés les différents outils agricoles, et qui seront mises en mouvement soit par une machine fixe, soit par une locomobile ne se déplaçant pas à chaque instant.

Nous avons vu que l'Américain Pikes s'est inspiré de l'étude du chemin atmosphérique, que Halkett a cherché l'application à l'agriculture des lignes à rails; les inventeurs dont nous allons parler ont également pris pour modèle un chemin de fer, celui qui a fonctionné longtemps entre Londres et Blacknall, où une machine fixe tirait, au moyen d'un câble sans fin, les wagons venant du pont de Londres.

Voici comment ils ont organisé leur système.

Supposons que le périmètre d'un champ soit entouré par une corde maintenue par un nombre suffisant de poulies fichées en terre et dont les bouts s'enroulent sur deux tambours. Que l'un de ces tambours tourne de gauche à droite, tandis que l'autre tourne en sens inverse, tout le câble développé le long du champ sera animé d'un mouvement de circulation. Si une charrue est amarrée en un point quelconque de ce périmètre mobile, elle décrira autant de sillons qu'elle portera de socs différents. Toute la force de la machine, excepté celle qui est dépensée dans les frottements inertes, sera utilisée à remuer le sol avec autant de puissance que si un attelage de dix, de vingt, de trente robustes chevaux tirait une colossale charrue. Pour arrêter le mouvement, il faudrait employer une puissance capable de briser le câble ou de paralyser l'effort du piston. Quand le système des socs aura parcouru la ligne extrême, on rapprochera de la locomobile les poulies qui maintiennent en position le câble, et l'on tracera de la même manière des sillons parallèles au premier.

La charrue ira donc successivement en se rapprochant du moteur à chaque passé; mais la corde périmétrique, dont la longueur se rétrécit progressivement, restera toujours tendue, parce que la portion inutile s'enroule grogressivement sur les deux tambours.

Grâce à ce système, M. Howard est parvenu à réaliser des résultats incontestablement supérieurs à ceux de la charrue ordinaire. Certains agriculteurs persistent même à préférer ce procédé à celui que nous allons décrire, bien que ce dernier ait été couronné par les jurés de Leeds.

Au lieu d'employer une corde qui fait tant de circuits pour tourner autour d'un champ, il semble évidemment beaucoup plus naturel et plus simple de disposer l'appareil de manière à tirer toujours droit devant soi. Lorsqu'on aura fini de tracer un sillon, on déplacera la locomobile qui donne le mouvement à une poulie autour de laquelle passe un câble sans fin, en même temps qu'on changera la station d'un chariot portant la seconde poulie nécessaire à l'établissement d'un va-et-vient complet.

Tous les socs destinés à fouir, remuer, bouleverser la terre seront amarrés au câble, qui les entraînera avec lui en traçant de profonds et rapides sillons.

La machine Fowler se compose donc essentiellement de trois

parties indispensables à la marche du système, quoique indépendantes les unes des autres : une machine motrice, un piquet ou chariot mobile retenu en terre par des ancres, et le double câble qui, passant par la poulie du chariot, va s'enrouler sur la poulie de la locomobile.

La charrue, alternativement traînée vers le point d'appui du va-et-vient et rappelée par le moteur, porte deux séries de socs, dont les pointes sont dirigées en sens inverse et qu'on met en prise l'une pour le va et l'autre pour le vient. Chaque série déchire à son tour le sein de la terre, pendant que l'autre, suspendue en l'air par un mécanisme très-simple, n'oppose aucune résistance au mouvement. Lorsqu'on a fini une passe, laissant une double trace de son passage sur le sol bouleversé, on fait mouvoir les points d'appui, car, si on les laissait en place, le fer de la charrue repasserait indéfiniment dans les mêmes sillons; alors on fait faire un pas au moteur et un pas au chariot ancré en terre, de sorte que les deux outils se retrouvent en face l'un de l'autre, et que le mouvement peut recommencer sur une bande de terre encore intacte.

Théoriquement parlant, le système Fowler est très-simple; mais que de difficultés d'exécution, que de pertes de forces diminuent l'effet utile de la vapeur, et permettent de douter qu'il soit réellement bien applicable à l'agriculture française, malgré les avantages considérables que le concours de Leeds a mis en lumière!

La double corde, qui va d'une poulie à l'autre, a nécessairement une longueur de plusieurs centaines de mètres, et, par conséquent, un poids considérable. Si on la laisse traîner sur le sol, on éprouve une résistance énorme, qui, suivant les expériences dynamométriques de M. Amos, s'élève à une fraction importante de l'effort nécessaire pour élever suivant la verticale tout l'équipage. En même temps, le frottement continu sur la terre labourée engendre une usure très-rapide, et augmente dans une proportion notable les frais de culture. Si on entreprend de soutenir le câble au moyen d'un certain nombre de poulies portées sur des pièces mobiles, il faut des hommes pour placer et déplacer successivement ces supports temporaires lorsque la charrue arrive. Encore une manœuvre accessoire s'ajoutant à celle qui est indispensable pour déplacer la machine et les ancres chaque fois qu'un double sillon est tracé.

Cependant le système Fowler conserve encore sur les charrues

ordinaires, comme nous allons le voir, une supériorité marquée; il a réalisé les espérances que des essais préparatoires avaient déjà permis de concevoir, et nous allons le voir à l'œuvre au concours de Leeds. Que serait-ce si l'agriculture à vapeur, définitivement passée dans la pratique, était débarrassée des tâtonnements inséparables de la période d'invention!

IV

La *Société royale d'agriculture d'Angleterre*, dont l'exemple peut être présenté comme un modèle de ce que les amis du progrès peuvent réaliser de plus parfait, est une association libre formée, il y a une trentaine d'années, par des agronomes, des fermiers et des propriétaires désireux de travailler à la prospérité de la grande industrie agricole, dont les progrès sont si intimement liés à la prospérité publique.

Sans recevoir de subvention du trésor public, les membres de cette association sont parvenus à produire une véritable révolution dans l'économie rurale de leur pays. Peut-être est-ce à leurs efforts qu'il doit particulièrement l'honneur d'être placé à la tête de l'agriculture moderne.

D'après le dernier recensement publié par le journal de la Société, le nombre des associés s'élève à près de cinq mille, versant annuellement une cotisation de 25 francs par tête, ce qui représente déjà une recette de 125,000 francs.

Ces ressources, qui seraient fort considérables même pour une institution de l'État, ne sont pas seules à la disposition de la Société. En effet, elle perçoit un droit d'entrée sur les personnes qui visitent les galeries, et, cette année, le chiffre des recettes provenant de cet impôt légitime prélevé sur la curiosité publique ne s'est pas élevé à moins de 250,000 fr. D'un autre côté, des comités locaux, établis dans les différentes villes où l'association se propose d'établir des expositions, réunissent des souscriptions spéciales servant à contribuer à la splendeur de l'œuvre. Cette année, la subvention votée par les habitants de Leeds s'est élevée à 150,000 francs; de sorte que la Société a eu à sa disposition un budget de 500,000 francs, ce qui lui a permis de remplir son programme avec le plus grand succès.

L'intérêt qui s'attache constamment aux expositions de la *Société*

royale d'Angleterre a été singulièrement accru par l'approche de l'exposition universelle de 1862, et par l'annonce des expériences dont la *charrue à vapeur* a été l'objet, et dont nous allons essayer de résumer les enseignements.

La charrue de M. Romaine, qui représentait le système primitif des Américains, a été mise hors de combat par une blessure reçue avant la bataille. Cette lourde machine, dont le poids est de plusieurs milliers de kilogrammes, avait été placée sur deux trucs, l'un supportant l'avant et l'autre l'arrière. Malheureusement un des deux chariots s'étant dérobé, l'appareil reçut un choc violent qui brisa plusieurs tubes de la chaudière. Lorsqu'on voulut la faire fonctionner, on ne fut pas long à s'apercevoir qu'elle perdait l'eau de toutes parts. On fut donc obligé de laisser tomber les feux, après avoir parcouru une bande de terre de 200 mètres de longueur et de la largeur du tambour d'arrière ; mais, pendant les quelques minutes que dura l'expérience, l'appareil remplit toutes les conditions désirables. Le travail de la terre fut considéré par les personnes présentes comme parfaitement suffisant pour remplacer avec avantage les charrues ordinaires, et la rapidité du mouvement atteignit celle que les inventeurs avaient annoncée.

Dans ces dernières années, la locomotion à vapeur sur les routes ordinaires, problème analogue à celui de la charrue locomotive, a fait en Angleterre des progrès considérables. On a vu, il y a quelques mois, lord Caithcaim, accompagné de deux personnes et d'un domestique, parcourir, avec une locomotive de son invention, les plus fortes pentes des routes écossaises. Les remorqueurs à vapeur ont fait leur apparition dans les rues les plus passantes de Londres pour voiturer les démolitions provenant du gigantesque réservoir de la compagnie des eaux de New-River. A l'exposition de Leeds se trouvaient quatre ou cinq voitures à vapeur construites d'après des systèmes différents, et excitant au plus haut degré l'attention des mécaniciens. Enfin le parlement, semblant pressentir l'avénement d'un nouveau moyen de transport, a adopté un bill pour réglementer l'usage de ces puissants véhicules.

Aussi un grand nombre d'hommes compétents persistent-ils à croire, en Europe, à l'avenir des charrues américaines, lesquelles profiteront évidemment de tous les perfectionnements dont la locomotion à vapeur sans rails est susceptible ; d'un autre côté, les ingénieurs du nouveau monde sont loin de renoncer au système

dont ils ont pris l'initiative. Presque tous les mois, le bureau des patentes de Washington reçoit de nouvelles demandes relatives au perfectionnement des appareils primitifs.

M. Fowler avait introduit de très-nombreux perfectionnements dans toutes les parties accessoires de son système. Il avait fait passer les deux brins du câble moteur sur deux poulies placées sur le brancard de la charrue et liées entre elles par un mécanisme spécial. Grâce à cette disposition toute nouvelle, le câble se tend tout seul, opération qui se faisait d'une manière très-pénible en tournant à la main une espèce de grosse vis, et qui est indispensable si l'on veut réduire au minimum les frottements inutiles du câble courant sur la surface du champ. D'un autre côté, il n'est plus nécessaire de faire mouvoir en ligne droite le chariot qu'on était réduit il y a quelques mois à traîner entre les deux ancres qui le fixent en terre et lui permettent de servir de point d'appui au va-et-vient. Comme la locomobile, montée sur deux roues et non pas sur des disques entrant dans le sol comme ceux sur lesquels repose le chariot, possède aussi la même propriété, le système Fowler peut s'appliquer dorénavant à la culture de champs de forme quelconque. Si les deux points fixes se rapprochent, le jeu même de la charrue rétablira la tension nécessaire. Au contraire, si les deux points fixes s'éloignent, le mécanisme laissera dérouler le câble nécessaire, et se prêtera à tous les caprices de la configuration du terrain.

Un des perfectionnements les plus intéressants du système Fowler qu'a mis en lumière l'exposition de Leeds, est celui qui permet de faire marcher la charrue avec une locomobile ordinaire de huit chevaux, pareille à celle dont on se sert pour mettre en mouvement les machines à battre. On peut la faire stationner à poste fixe dans un coin du champ, et la faire agir sur un tambour porté sur un chariot qui est en communication avec celui qu'elle porte. Le câble passe sur ce tambour, et se rend à deux ancres qu'on enfonce dans la terre à chacune des extrémités du sillon qu'il s'agit de tracer et qui servent de point d'appui; la charrue oscillant de l'un à l'autre comme dans le cas ordinaire, elle va de la locomobile au chariot. La longueur du câble diminue à mesure que les sillons se rapprochent de la machine, mais l'excédant est enroulé automatiquement au moyen du tendeur dont nous avons sommairement décrit les effets.

La machine Fowler exige l'emploi de quatre chevaux, deux pour porter les ancres et deux pour porter les câbles, en même temps que le concours d'un assez grand nombre d'ouvriers. De plus, le prix d'acquisition de la machine est considérable, car en Angleterre même elle coûte plus d'une vingtaine de mille francs. En France, on ne pourrait pas l'établir pour moins de 25 ou 26,000 francs, ce qui est évidemment au-dessus des ressources de la plupart de nos cultivateurs.

Il faut donc que l'économie réalisée par l'usage des charrues à vapeur soit suffisante pour permettre à des entrepreneurs de se charger de la culture à façon en réalisant un bénéfice suffisant, et en offrant aux propriétaires un rabais suffisant pour les engager de renoncer à l'usage des charrues à chevaux.

Malgré la complication du mécanisme et l'importance de la mise de fonds, l'avenir des nouveaux instruments dépend donc, en dernière analyse, de la différence que l'on constatera entre les deux modes de culture.

Il est facile de comprendre que la conduite des charrues a été confiée à des mécaniciens exercés, de sorte qu'il serait impossible d'obtenir de prime abord des résultats identiques en France. On sait que les expériences faites sous l'œil du public, dans des concours solennels, sont en général supérieures à celles qui se réalisent dans la pratique journalière, car les agents employés dans les exploitations rurales ne sont pas stimulés par la présence des concurrents, et sans doute par la promesse de récompenses particulières, comme lorsqu'ils opèrent devant les jurys; on a donc jusqu'à un certain point le droit de se défier des résultats indiqués par les jurés de Leeds.

Les résultats constatés par de simples particuliers employant sur une grande échelle l'appareil Fowler deviennent donc fort importants à constater, et, bien que les prix de revient doivent varier nécessairement dans une proportion fort considérable, suivant la nature du sol et la profondeur que l'on donne aux sillons, nous citerons pourtant quelques valeurs extrêmes qui, jusqu'à un certain point, pourront servir de type.

M. Bruder, fermier du prince Albert, a labouré 60 hectares en donnant aux sillons une profondeur de 24 à 30 centimètres. Ce travail, qui n'a duré que 39 jours, a coûté un peu moins de 1,250 francs, ce qui porte le prix de revient à 28 francs par

hectare, sensiblement supérieur à celui que le concours de Leeds semble avoir indiqué.

Mais le sol qu'on avait à fouiller est une argile très-tenace dans laquelle on ne peut pas tracer simultanément plus de trois sillons, et où le labourage ordinaire eût été incontestablement très-difficile et très-dispendieux.

Par compensation, d'autres fermiers ont constaté des résultats plus avantageux que ceux obtenus aux concours de Leeds. Ainsi *M. Pluwer* de Reasemore, opérant avec une machine de 12 chevaux sur une surface de 120 acres à la profondeur de 21 centimètres, a dépensé environ 10 francs 50 par hectare, ce qui est évidemment un résultat très-remarquable, qui s'est représenté plusieurs fois dans des circonstances analogues.

M. Read d'Elkstone a dépensé 12 francs par hectare sur une ferme de 20 hectares près de Cheltenean, et M. Ruok de Castle Hill Crickdell, labourant à une profondeur un peu moindre, est retombé sur le chiffre de 10 francs. Les chiffres officiels, ce qui prouve avec combien de soin les expériences ont été faites, seraient au-dessus des chiffres réels.

Nous allons donc essayer de donner les résultats numériques obtenus dans cette dernière expérience, avec toute l'exactitude dont de pareilles évaluations sont susceptibles.

Heureusement les documents ne nous manquent pas pour nous guider dans cette importante et intéressante partie de notre travail ; car non-seulement les feuilles spéciales, telles que le *Mark Lane Express*, le *Farmer's Magazine*, le *Gardner's Chronicle*, le *North British Agriculturist*, et le *Mecanich's Magazine*, mais les feuilles politiques et littéraires elles-mêmes, telles que l'*Illustrated London News*, le *Times*, le *Daily News*, le *Morning Post*, ont inséré des correspondances très-intéressantes et très-étendues, qui paraissent avoir le plus souvent échappé à l'attention des journalistes français.

Dans une première expérience, qui a duré quatre heures un quart, sur une terre à turneps, le grand appareil de Fowler a réellement labouré une surface de 130 ares, en pénétrant jusqu'à une profondeur de 17 centimètres 1/4, ce qui représente une surface d'environ 320 ares en dix heures de travail. L'équipage nécessaire à la manœuvre se compose d'un mécanicien, que l'on paye 4 fr. 35 par jour, d'un ouvrier chargé de conduire la charrue,

qui reçoit 3 fr. 75, d'un manœuvre pour déplacer l'ancre, 2 fr. 50, et de trois aides, à chacun desquels on donne 1 fr. 25, et dont le rôle se borne à déplacer les poulies sur lesquelles les câbles sont supportés pour éviter qu'ils ne traînent à la surface du sol.

Il faut une voiture pour fournir à la machine l'eau dont elle a besoin, ce qui occasionne une dépense journalière de 6 fr. 25; l'huile pour le graissage coûte 1 fr. 25; les 900 kilogrammes de charbon que la machine consomme représentent une valeur de 22 fr. 50. L'usure du matériel et l'intérêt de l'argent, sur un prix d'acquisition de 20,625 fr., peuvent se représenter par 11 fr. 25. Par conséquent, on arrive à une somme de 55 fr. 60, ce qui porte le labourage d'un hectare à 23 fr. 37.

Ce chiffre n'est qu'une limite supérieure des dépenses qu'exige la manœuvre des appareils Fowler. En effet, les expériences exécutées avec une machine de 8 chevaux, opérant sur de la terre à trèfle, ont donné des résultats sensiblement plus avantageux. La consommation de charbon s'éleva à 450 kilogrammes pour labourer, en sept heures trois quarts, plus de 240 ares, à une profondeur de 17 centimètres et demi. Dans ces dernières conditions, on peut admettre que la dépense ait été réellement réduite à 17 fr. 75 par hectare.

Ce qui tend à prouver, au reste, que ce système donne de bons résultats, c'est qu'il y a aujourd'hui plus de 200 charrues Fowler qui sont entre les mains des agriculteurs anglais. D'après des recensements dignes de foi, plus de 12,000 hectares de terres arables ont déjà reçu cette façon.

D'après l'avis d'un journal agricole dont les assertions font autorité en Angleterre, le *Farmer's Magasine*, ces essais ont constaté que la culture à vapeur est à la fois le procédé le meilleur et le moins cher pour labourer des terres fortes argileuses. On a reconnu qu'elle est également un accessoire très-utile et très-économique pour donner une parfaite culture à un sol mixte. Le journal d'*Agriculture pratique* de M. Barral n'hésite pas, au reste, à adopter des conclusions analogues.

Cependant, hâtons-nous de le dire, personne n'a l'intention de prétendre qu'il faille renoncer d'une manière complète à l'usage des chevaux ou des bœufs; il n'est nullement démontré que la vapeur soit réellement avantageuse sur une terre assez légère pour

que deux chevaux puissent labourer 60 ares par jour. En effet, dans ce cas particulier, l'emploi d'une machine Fowler ne permettrait pas au fermier de diminuer de plus d'un quart le nombre des chevaux qu'il est obligé d'entretenir dans son exploitation rurale. Quels que soient les progrès de la mécanique agricole, il y aura place pour tous les procédés de labourage, comme les chandelles subsistent à côté des bougies, des carcels et du gaz.

Les statistiques récentes constatent que, dans la Grande-Bretagne, la culture du blé occupe chaque année une surface de 1,600,000 hectares, celle de l'orge 1,200,000, celle de l'avoine 800,000, celle des pommes de terre 280,000, celle des turneps 1,200,000; les autres récoltes couvrent 380,000, et les jachères environ 360,000. D'après le *Gardner's Chronicle*, au moins les deux tiers de cette surface peuvent être avantageusement cultivés par la vapeur. C'est donc une surface de 4 millions d'hectares, représentant 2 millions de journées de travail pour des machines de 12 chevaux. Comme les labours ne peuvent pas s'effectuer pendant plus de 120 jours, il faudrait 15,000 machines à vapeur d'une valeur moyenne de 20,000 francs, soit 300 millions de frais d'outillage.

Si l'état d'imperfection relatif dans lequel se trouvent les machines n'était un obstacle pour leur emploi par l'agriculture française; si les habitudes de nos paysans et le morcellement de la propriété ne s'opposaient à leur importation, la France aurait encore besoin d'un nombre plus considérable de machines. En effet, d'après M. Maurice Block, on évalue à 25 millions d'hectares la surface du sol arable; supposons que le tiers seulement puisse accepter la culture de la charrue à vapeur perfectionnée, nous aurons plus de 8 millions d'hectares à cultiver, représentant 4 millions de journées de machines Fowler, c'est-à-dire le double du travail demandé à l'agriculture de la Grande-Bretagne, soit un effectif de 30,000 machines de 12 chevaux chacune, un peu moins de 400,000 chevaux-vapeur.

V

La charrue à vapeur possède incontestablement l'avantage de pouvoir exécuter rapidement un travail forcé, lorsque les circonstances atmosphériques l'exigent. Supposez qu'une récolte man-

quée doive être remplacée rapidement par des plantations nouvelles, qu'il s'agisse de profiter d'un temps qui s'annonce favorable, la machine peut fonctionner à toute vapeur sans interruption même la nuit. Des équipes d'hommes se remplaceront et feront marcher les câbles à la lueur des flambeaux.

Sans être difficile ni compliquée, la manœuvre exige une assez grande habileté de la part des ouvriers, que l'on peut rémunérer très-convenablement, comme dans toutes les industries où intervient directement le talent de l'opérateur. L'introduction de ces puissants engins est donc un moyen infaillible de combattre la dépopulation des campagnes en rehaussant le taux des salaires. Le seul procédé pour résister à la toute-puissante attraction des centres manufacturiers, ou des colonies prospères qui *drainent* la population de l'Irlande, de l'Allemagne, et qui *draineront* bientôt la population française, n'est-il pas d'améliorer la situation des travailleurs des champs?

La conservation de l'équilibre nécessaire à l'alimentation des villes impose l'obligation de transformer l'agriculture en art véritable, au moyen d'un notable perfectionnement dans les instruments de travail, amoindrissant le rôle de la force brutale par l'intervention plus directe de l'intelligence. Quel stimulant plus énergique pour l'introduction des machines à vapeur agricoles que la multiplication de charrues puissantes dont le moteur peut servir à faire marcher des machines à battre, des machines à couper les racines, des moulins, etc., etc.! Le nombre des opérations susceptibles d'être exécutées avec avantage finit par s'accroître assez pour permettre de donner une occupation presque continue aux locomobiles, dont le prix sera toujours un peu élevé, mais qui cesseront d'être chères parce qu'elles serviront pendant toute l'année.

Enfin, une dernière considération extrêmement grave milite, en faveur de la propagation des nouveaux procédés de labour, et nous aurions mauvaise grâce à ne pas la développer avec quelque énergie dans un moment de crise alimentaire. Les fourrages que consomment les chevaux, les bœufs, les vaches attelés à la charrue ne sont pas directement utilisés pour l'alimentation humaine, comme ceux que mangent les bœufs et vaches à l'engrais.

En effet, dans le premier cas, on produit de la force motrice destinée à faire pousser du blé, tandis que, dans le second, on fabri-

que directement de la viande. Si l'emploi du charbon permet de supprimer *cinq cent mille têtes* de chevaux ou bestiaux attelés à la charrue, on rend disponibles un certain nombre de milliers d'hectares sur lesquels on pourra, soit faire pousser du blé destiné à l'alimentation humaine, soit cultiver des fourrages destinés à fabriquer du lait et de la viande.

Les chevaux et bœufs qui tirent la charrue rendent incontestablement un service signalé à la société ; malheureusement pour eux, ils font concurrence à l'homme au point de vue alimentaire, car ils mangent des fourrages qu'il faut récolter. Donc il y a progrès considérable à se passer de leurs services, à avoir recours aux dépôts minéraux que la nature a si libéralement accumulés et dont nous connaissons encore une si faible fraction.

Tout travail produit exige une dépense correspondante : les machines brûlent du charbon, les chevaux en brûlent également, malheureusement ils sont obligés de le prendre dans l'avoine, c'est-à-dire dans un produit infiniment plus cher que la houille. Toute la question des machines se résume ainsi dans une question de prix de revient, et le résultat définitif ne peut être douteux.

Augmentation de matières alimentaires, diminution de travail effectif, développement de l'habileté des ouvriers, rehaussement des salaires ; voilà le bilan de quelques-uns des avantages qui recommandent les charrues à vapeur à l'active sollicitude de tous les hommes de progrès.

Plus on étudiera avec attention la nature des problèmes sociaux, plus on demeurera convaincu que les désordres qui choquent notre sensibilité sont autant de problèmes posés à notre intelligence.

L'ignorance, la pauvreté du laboureur se présentaient comme une condition fatale de la nature humaine. On pouvait le croire attaché à son sillon par une inexorable fatalité, condamné à arroser une terre marâtre de ses larmes, de ses sueurs, de son sang. Que de fois la malheureuse victime s'est insurgée contre un sort cruel sans obtenir d'autre résultat que de le rendre plus cruel encore ! Il suffit d'un progrès réalisé dans les arts mécaniques pour faire tomber ses chaînes. Un sentiment plus profond, plus puissant de l'harmonie du monde transforme la base même de notre exploitation agricole. La vapeur va porter sur toute l'étendue du territoire le rayonnement de la civilisation, qui était resté jusqu'à ce

jour concentré dans quelques foyers urbains. Elle redresse l'homme, lui relève le front, le rend à son véritable rôle, qui est de diriger et de conduire, et non pas de plier sous le faix, de suer à la peine.

Les merveilles du *meeting de Leeds* semblent se charger de réaliser la portion véritablement légitime des promesses que tant de rêveurs ont fait briller devant les yeux de l'humanité rougissant de sa triste et douloureuse impuissance[1].

[1] Notre énumération serait incomplète si nous omettions de mentionner le système des frères Barrat, qui est en ce moment même l'objet d'expériences intéressantes à Vincennes. Les inventeurs ont cherché à résoudre le problème qui nous occupe en construisant une locomotive qui se déplace dans les champs comme celle de M. Romaine, mais qui porte à l'arrière un système de pioches, au lieu d'être armée d'une espèce d'hélice. On dit que cet appareil, qui est depuis longtemps l'objet de laborieuses recherches, renferme un grand nombre de dispositions nouvelles et ingénieuses.

W. de Fonvielle.

TROISIÈME PARTIE

HISTOIRE DES SCIENCES

MÉCANIQUE

LA TRANSLATION ET LA ROTATION

GALILÉE ET POINSOT

Sans doute Poinsot occupe une haute place dans l'opinion des géomètres, il est mis par eux hors de pair, mais sa réputation n'a guère dépassé le cercle des gens spéciaux. Pour cette partie ouverte et intelligente du public qui classe les savants en séparant ceux qui ont une valeur philosophique de ceux qui ne sont que des brasseurs de formules et de théorèmes, Poinsot est encore perdu dans la foule des mathématiciens qui ont fleuri pendant la première moitié de ce siècle. Plusieurs de ses rivaux, qu'on ne saurait aucunement lui opposer comme philosophes, ont été illustres, lui n'a été qu'estimé. Comparez, par exemple, l'éclat de son nom à celui dont jouit le nom de Laplace !

Laplace mérite d'ailleurs sa grande réputation, mais Poinsot en mérite, selon nous, une plus grande encore. Sans doute Laplace a été un admirable commentateur de Newton, mais il s'est arrêté aux bornes placées par celui-ci, et il a fallu Poinsot pour parachever la mécanique céleste, rectifier les calculs incomplets de Laplace, et déterminer le vrai plan invariable du système solaire. Poinsot n'est pas, comme Laplace, un commentateur; c'est un novateur. Si l'on voulait, pour la pureté et la clarté du style, pour les hori-

zons nouveaux ouverts à la science, le comparer à quelque autre physicien-géomètre, il faudrait peut-être prononcer le nom de Galilée lui-même.

Pour que Newton ait pu énoncer la loi suprême de la mécanique céleste, il avait fallu un Galilée; pour que quelque Newton de l'avenir énonce la loi suprême de la mécanique moléculaire, de la mécanique chimique, il aura fallu un Poinsot.

Tous les travaux de Galilée, en mécanique, vinrent se résumer en cette grande découverte : *la démonstration du principe de l'inertie de la matière*. C'est là aussi qu'aboutissent toutes les découvertes de Poinsot. Seulement, là où Galilée n'avait vu qu'une idée, Poinsot en a vu deux. L'idée du mouvement est divisible en deux idées élémentaires, l'idée de translation et l'idée de rotation; il y a donc nécessairement deux inerties et non une seule, l'inertie de translation et l'inertie de rotation. La nature combine sans cesse ces deux inerties, mais notre esprit peut les concevoir indépendamment l'une de l'autre, et c'est seulement d'après cette conception absolue de l'une et de l'autre qu'il peut ensuite les combiner et concevoir les corps comme les conçoit la nature elle-même, comme ils sont dans la réalité.

Poinsot fut saisi, dès ses débuts, par un puissant désir de voir avec l'œil intérieur les mouvements d'un corps pirouettant librement dans l'espace autour d'un de ses points, de suivre d'instant en instant l'inclinaison que prend l'axe de cette rotation. Il voulut savoir *ce que personne*, ainsi qu'il le dit fièrement, *ne s'était encore représenté*. Dès qu'il se fut mis à la poursuite de cette idée, il en fut obsédé sans cesse, tous ses travaux furent autant de degrés qu'il élevait, pour se rapprocher d'elle, pour arriver à sa possession complète, jusqu'au jour (19 mai 1834) où il put lire à l'Académie des sciences ce mémoire mémorable[1] qui commence ainsi :

« Voici une des questions qui m'ont le plus souvent occupé, et, si l'on me permet de parler ainsi, une des choses que j'ai le plus désiré de savoir en dynamique.

« Tout le monde se fait une idée claire du mouvement d'un *point*, c'est-à-dire du mouvement d'un corpuscule qu'on suppose infiniment petit, et qu'on réduit en quelque sorte par la pensée à

[1] *Théorie nouvelle de la rotation des corps.*

un point mathématique; car il ne reste plus alors qu'à se représenter la ligne droite ou courbe que ce point peut décrire, et la vitesse avec laquelle il se meut suivant cette ligne. Mais, s'il s'agit du mouvement d'un corps de *grandeur sensible et de figure quelconque*, il faut convenir qu'on ne s'en fait qu'une idée très-obscure.

« A la vérité, cette idée paraît d'abord s'éclaircir ou se résoudre naturellement en deux autres. En effet, si l'on s'attache à regarder un seul et même point du corps, on peut suivre, d'un côté, le mouvement de ce point qui ne peut décrire qu'une certaine ligne dans l'espace, et, de l'autre côté, le mouvement du corps, qui ne peut que tourner en même temps sur ce point comme autour d'un centre fixe. Mais ce second mouvement, c'est-à-dire celui d'un corps mobile autour d'un point sur lequel il a la liberté de pirouetter dans tous les sens, ne présente lui-même qu'une idée très-obscure.

« Or c'est cette idée claire du mouvement de rotation que j'ai tâché de découvrir, afin de mettre sous les yeux ce que personne ne s'était encore représenté. »

Ajoutons que Poinsot n'avait pas seulement *tâché*, il avait résolu, et d'une façon complète, le problème qu'il s'était posé. Appuyé sur la philosophie la plus exquise, la plus ennemie des termes techniques, la plus française, il avait mis hors de doute le principe de l'inertie de rotation, fourni à tous ceux qui voudront désormais le suivre une vue claire et complète des applications de ce principe dans tous les cas possibles, et renouvelé du même coup toute la métaphysique de la dynamique, réconcilié Descartes avec Aristote et en même temps avec Leibniz.

I

DU PRINCIPE DE L'INERTIE.

Impuissance de la matière à transformer ses mouvements. — Une force est un transformateur de mouvement. — Des mouvements uniformes ou non transformés.

On définit d'ordinaire l'inertie de la matière en disant que *la matière est impuissante, par elle-même, à se mettre en mouvement, ou, si elle est déjà en mouvement, à transformer les mouvements dont elle est animée.* Comme toute matière est déjà en mouvement au moment où nous commençons à la considérer,

comme celle qui nous paraît en repos est seulement celle qui est animée de mouvements que nous, partageons ou de mouvements particulaires qui, par leur petitesse, échappent à nos sens, il y a lieu de supprimer la première partie du principe de l'inertie, et de dire :

La matière est impuissante à transformer ses mouvements.

Les causes naturelles qui donnent à la matière cette puissance qui lui manque, nous les individualisons, nous savons nous les représenter comme des individus, et nous les appelons, des Puissances, des Possibilités, des Forces. Uue Puissance, une Possibilité, une Force, c'est donc, par définition, un transformateur de mouvement, et non, comme on le dit d'ordinaire, une cause de mouvement. Parce qu'un corps est en mouvement, il n'y a pas pour cela apparence de force; mais, dès qu'il y a transformation de ce mouvement, l'idée de force naît en nous. On entrevoit immédiatement que toute bonne mécanique repose sur une juste et complète définition des mouvements non transformés ou uniformes; des mouvements qui durent en conservant toujours la même forme, puisque cette idée est corrélative de celle de la force.

Ajoutons que cette individualité ou indivisibilité de la force ne lui est point du tout naturelle, c'est une pure conception de notre esprit. Savoir la dynamique, c'est précisément savoir se représenter comme plusieurs forces et même une infinité de forces ce qu'on se représentait l'instant d'avant comme une force unique, et réciproquement savoir intégrer en une seule force ce que l'instant d'avant on avait considéré comme plusieurs forces ou comme une infinité de forces. En d'autres termes, c'est trouver la *résultante* unique de plusieurs forces, c'est décomposer une force en ses *composantes*.

Ajoutons encore que nommer *l'impuissance de la matière à transformer ses mouvements*, inertie de la matière, est une locution fort vicieuse. En haine d'Aristote, le platonicien Galilée, suivi en cela, avec exagération, par Descartes et Newton, se figurait les Possibilités comme existant dans une sphère idé le, indépendamment de leur application à la matière.

D'après ces maîtres, et malgré les protestations énergiques de Leibniz, on s'est habitué peu à peu à considérer la matière comme immobile par essence, et comme n'ayant d'autre propriété que l'étendue, tandis que le mouvement est, lui aussi, une de ses pro-

priétés essentielles. Le point matériel, qui, ainsi que le dit Poinsot, est « un corpuscule qu'on suppose infiniment petit, et qu'on réduit par la pensée à un point mathématique, » a été accepté dans toute sa rigueur par les commentateurs de Newton comme quelque chose d'absolument inétendu et cependant de réel.

Cette conception, qui, par sa grossièreté même, a pu servir à la renaissance de la mécanique, n'est plus de mise aujourd'hui. Il faut, depuis les découvertes de Poinsot, revenir au bon sens d'Aristote, pour qui Matière et Force étaient termes synonymes, et qui savait que l'idée de force naît en nous quand deux matières, agissant l'une sur l'autre, transforment mutuellement leurs mouvements.

L'impuissance de la matière à agir sur elle-même n'implique pas son impuissance à agir sur une autre matière, et le prétendu principe de l'inertie est celui de la persistance du mouvement. Au lieu de dire : la matière est impuissante par elle-même à transformer ses mouvements; il faut dire : la matière est puissante par elle-même à persister éternellement dans ses mouvements.

Toutefois, Poinsot, qui a eu besoin de se servir du vieux langage de la science qu'il venait régénérer, ayant appelé lui-même sa découverte *le principe de l'inertie de rotation*, nous lui conserverons le nom qu'il lui a donné

Ainsi donc la matière est impuissante à *transformer* ses mouvements. Qu'est-ce donc qu'un mouvement *non transformé*, un mouvement uniforme? Autant nous distinguerons de sortes de mouvements, autant il nous faudra distinguer de sortes d'uniformités et de sortes d'inerties. Il n'y a lieu de distinguer dans les corps que deux sortes de mouvements : le mouvement de translation et le mouvement de rotation. Il y a donc deux mouvements uniformes et deux inerties.

Galilée a défini la première et Poinsot la seconde.

II

GALILÉE ET L'INERTIE DE TRANSLATION.

Définition du mouvement uniforme de translation. — Mesure des forces à l'état statique et dynamique. — Masse et vitesse. — Idée de l'accélération, elle seule définit entièrement la force mécanique. — Parallélogramme des forces.

Tout corps qui n'est soumis à l'action d'aucune force, qui est abandonné à lui-même, se meut indéfiniment en ligne droite et avec

une vitesse constante. *Avec une vitesse constante*, c'est-à-dire en parcourant la même longueur dans chaque unité de temps. Si, par exemple, dans la seconde actuelle il parcourt deux mètres, il a parcouru deux mètres dans la seconde précédente, il parcourra deux mètres dans la seconde suivante [1]. Si sa vitesse croissait ou décroissait le moins du monde, si sa trajectoire cessait d'être une seule ligne droite pour devenir un contour polygonal ou une courbe, c'est qu'il aurait été soumis à l'action d'une force. Tel est le principe de l'inertie de lation ou translation, découvert par Galilée. Ce mouvement rectiligne et de vitesse constante est dit mouvement *uniforme de translation.*

Il semble au premier abord que la pratique démente journellement cette assertion théorique; c'est cependant par une juste et complète interprétation des faits que Galilée a été amené à la formuler.

Si, par exemple, une bille roule sur un billard, assez étendu pour offrir un champ indéfini à sa translation, la vitesse de la bille, loin d'être constante, diminuera peu à peu et la bille finira par s'arrêter. C'est que la bille, qui paraît au premier abord livrée à elle-même, est en réalité soumise à l'action de deux forces de même direction que son mouvement, mais de sens opposé, et par conséquent, agissant comme retardatrices, la résistance de l'air et le frottement du tapis. Pour se convaincre que ce sont seulement ces deux forces qui empêchent la vitesse de la bille d'être constante, il suffit de les diminuer, de diminuer la résistance de l'air en diminuant sa densité, de diminuer le frottement du tapis en le rendant, ainsi que la bille, de plus en plus poli; on verra la vitesse de la bille s'approcher de plus en plus, sans l'atteindre jamais, de la constance absolue.

Ce genre de raisonnement par lequel on conclut la vérité parfaite d'une idée de la tendance illimitée des faits à s'en approcher, est un des plus familiers aux mathématiciens; ils en prouvent la justesse par l'excellence et l'accord des conséquences qu'ils savent

[1] L'idée de vitesse constante est indépendante de l'unité de temps choisie. Si, par exemple, la vitesse comparée de deux corps est 2 et 3 en prenant pour unité de temps la seconde, ces nombres 2 et 3 n'en représenteront pas moins leur vitesse, si on prenait pour unité de temps la tierce, ou la quarte, ou même l'*instant*, c'est à savoir un temps très-petit, aussi petit que nous voudrons l'imaginer.

en tirer. Nous allons voir comment, sur ce seul principe de l'inertie, sur ce seul principe qu'un corps est abandonné à lui-même, et n'est soumis à l'action d'aucune force, quand il se meut en ligne droite avec une vitesse constante, Galilée a fondé toute la mécanique de la translation.

L'idée d'un corps absolument en repos est celle d'un corps dont tous les points resteraient à des distances invariables, constantes, de tous les autres points de l'univers. Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que tous les autres points de l'univers restassent eux aussi à des distances constantes les uns des autres. L'idée du repos absolu d'un seul corps implique donc celle du repos universel. Comme ce repos universel est manifestement faux et impossible à concevoir, l'idée d'un corps en repos est purement imaginaire, c'est-à-dire fondée sur l'impuissance de notre imagination à concevoir habituellement la réciprocité des repos et des mouvements. Toutefois, ce jeu de l'imagination ayant été fort utile pour les premières mesures des forces, nous admettrons qu'un corps est en repos quand il paraît tel, et les forces mécaniques deviendront alors les causes des mouvements des corps. Si deux forces tendent à produire en même temps sur un corps le même mouvement, mais en sens contraire l'une de l'autre, aucun mouvement ne se produira; une force peut donc être dite *une cause de mouvement ou de résistance au mouvement.* Quand plusieurs forces, agissant sur un même corps, n'y produisent aucun mouvement apparent, on dit qu'elles s'équilibrent, et le corps est à l'état statique ou stationnaire; quand, au contraire, des forces appliquées à un corps y produisent un mouvement apparent, on dit que le corps est à l'état dynamique.

Mesurer les forces à l'état statique et à l'état dynamique et établir l'identification de ces deux mesures, c'est fonder la mécanique. C'est ce que Galilée a fait en s'appuyant sur le principe de l'inertie.

Une force capable de maintenir en l'air un poids de 10 kilogr. ou de presser un ressort exactement autant que le ferait un poids de 10 kilogr., est une force de 10 kilogr. A l'état statique, les forces se mesurent en poids, en kilogrammes, hectogrammes, grammes, décigrammes, etc.

Le principe de l'inertie va nous donner une seconde manière de les mesurer. Soit une force mesurée par la statique, et valant 7 ki-

logr.; par exemple, un coup de queue de billard qui a pressé un ressort comme un poids de 7 kilogr., je l'applique à une bille de billard. Je suppose la résistance de l'air et le frottement assez faibles pour que je puisse considérer le mouvement de la bille comme uniforme, soit la vitesse constante communiquée 3 mètres par seconde. Je puis affirmer d'avance et sans faire de nouvelle expérience que, si mon coup de queue avait eu une force 14, la vitesse qu'il aurait imprimée à la bille aurait été 6; que, s'il avait eu une force 21, sa vitesse aurait été 9; en un mot, que les vitesses du mouvement uniforme communiqué à un même corps par diverses forces sont proportionnées à l'intensité de ces forces. Ce rapport constant $\frac{7}{3}$, $\frac{14}{6}$, $\frac{21}{9}$ est ce qu'on appelle la masse du corps. On exprime en mécanique l'idée de cette masse, et de la relation qu'elle établit entre une force et la vitesse qu'elle produit, par l'équation

$$F = mv$$

F est le nombre qui représente la force estimée en poids par la statique, v est le nombre qui représente la vitesse, exprimée en mètres, que cette force communique au corps; enfin m est le nombre qui représente cette masse.

Si, par exemple, la force considérée était de 21 kilogr., la vitesse communiquée au corps, 9 mètres par seconde; la masse du corps $\frac{7}{3}$, l'équation précédente voudrait dire :

21 égale $\frac{7}{3}$ multiplié par 9

Les quantités de la forme mv s'appellent quantités de mouvement.

Dans le cas qui précède, nous n'avons étudié le mouvement du corps qu'après que la force avait cessé d'agir sur lui, il s'ensuivait un mouvement uniforme ou de vitesse constante. Mais comment variera la vitesse d'un corps pendant qu'une force agit sur lui? Supposons d'abord que la force agissante est d'intensité constante, c'est-à-dire que pendant toute la durée de son action elle est susceptible d'être représentée par le même poids, et qu'elle agit toujours dans la même direction. Appelons v la vitesse du mouvement uniforme qu'elle aurait été capable de communiquer au corps en agissant sur lui pendant une seule seconde.

Si cette force, d'intensité constante, agit continuellement sur le corps, c'est-à-dire pendant plusieurs secondes successives, elle agira pendant chaque seconde comme pendant la première. Or, en une seconde elle a communiqué au corps une vitesse v; en deux secondes, elle lui communiquera donc une vitesse deux v; en trois secondes, une vitesse trois v, et ainsi de suite. Nous savons donc qu'au bout de quinze secondes, par exemple, la vitesse du corps est quinze v. C'est-à-dire que, si au bout de quinze secondes la force cesse d'agir sur lui, il continuera, en vertu de son inertie, à se mouvoir d'un mouvement uniforme, dont la vitesse constante est représentée par quinze v.

Si, par exemple, v est égal à 9, comme dans le cas précédent; c'est-à-dire si la force, agissant une seule seconde sur le corps, lui eût communiqué une vitesse de 9 mètres par seconde; en agissant pendant deux secondes, elle lui communiquera une vitesse 2 fois 9 ou 18; en trois secondes, une vitesse 3 fois 9 ou 27; en 15 secondes, une vitesse de 15 fois 9 ou 135 mètres par seconde.

On voit que dans un pareil mouvement la vitesse croît proportionnellement au temps, en raison de la durée du mouvement. Un pareil mouvement a reçu le nom de mouvement *uniformément varié*.

L'expérience prouve que la chute libre des corps suivant la verticale est un mouvement uniformément varié; la pesanteur, cause de ce mouvement, est donc une force d'intensité et de direction invariables qui agit continuellement. Ainsi que divers instruments de physique ont permis de le constater, la vitesse constante qu'elle communiquerait à un corps, en n'agissant sur lui que pendant une seule seconde, serait de $9^m.8088$.

Quand un corps tombe librement suivant la verticale, la pesanteur lui imprime un mouvement *uniformément accéléré*, la vitesse *croît* proportionnellement au temps; mais, quand la pesanteur agit sur un corps qui monte suivant la verticale, comme, par exemple, sur un boulet de canon lancé verticalement et qui posséderait, en vertu de l'inertie, une vitesse constante de 300 mètres par seconde, elle lui imprime un mouvement *uniformément retardé*. Sous l'action de la pesanteur, la vitesse du boulet, de 300 mètres au sortir du canon, *décroît* proportionnellement au temps.

La pesanteur, force continue, agit comme retardatrice, ainsi que la résistance de l'air et le frottement du billard agissaient sur la bille roulante dans l'exemple que nous avons précédemment choisi. Il suit de là que la vitesse du boulet de bas en haut finira par être nulle. La pesanteur, continuant à agir sur lui, lui communiquera alors, de haut en bas, une vitesse uniformément croissante, et, au moment où il retouchera la terre, il aura regagné sa vitesse de 300 mètres par seconde.

Ici se précise définitivement la notion de la force mécanique. Dans l'équation $F = mv$, telle que nous l'avons d'abord considérée, le nombre v représente la vitesse constante du mouvement uniforme résultant de la force F, ayant agi pendant une seule seconde. Nous savons maintenant que, si la force continue d'agir pendant plusieurs secondes, la vitesse des corps s'accélérera avec le temps, en raison de ce nombre v. Ce nombre v nous représente donc une idée nouvelle, celle de l'*accélération*, c'est-à-dire celle de l'accroissement de la vitesse du corps soumis à l'action de la force F. Cette accélération est constante, et pour ce motif le mouvement du corps est dit *uniformément* varié.

De là une nouvelle manière de mesurer les forces. *Les intensités des forces sont proportionnelles aux accélérations qu'elles sont susceptibles de communiquer à une même masse.* Cette idée d'accélération est la seule qui permette de bien comprendre ce que c'est que l'intensité d'une force, surtout si on s'élève à l'idée d'une force d'intensité variable, d'une force non susceptible d'être représentée pendant toute la durée de son action par un même poids. Une telle force, agissant continuellement sur un corps, ne lui communiquera plus une accélération constante, mais variable. Le mouvement du corps cessera d'être *uniformément varié*, pour devenir *difformément varié*. L'accroissement de sa vitesse pendant chaque seconde déterminera l'intensité de la force pendant cette seconde.

De cette définition complète de la force par l'accélération qu'elle produit, il suit aussi que, quelle que soit la trajectoire que parcourt un corps, rectiligne, polygonale ou courbe (qu'il se meuve sans changer de direction, ou en changeant de temps en temps, ou en changeant sans cesse), comme en un point donné de cette trajectoire il ne peut posséder qu'une certaine accélération, nous pouvons imaginer une force unique capable de lui communiquer le mouve-

ment qu'il a actuellement. Quelles que soient les causes multiples, à nous inconnues, qui influent sur la vitesse d'un corps, nous pouvons nous les représenter à tout instant comme une cause unique appelée *résultante*.

D'où cet énoncé :

Plusieurs forces agissant simultanément sur un même corps ont toujours une résultante unique.

On parvient à composer deux forces, puis un nombre quelconque de forces, en une seule, par la construction dite du *parallélogramme des forces*.

Soit le corps immobile au point A. Par hypothèse, on sait d'avance que la force P, agissant seule sur lui, le porterait en une seconde au point B, et que la force Q, agissant seule sur lui, le porterait en une seconde au point C. On demande le point où le corps sera au bout d'une seconde, en vertu de l'action simultanée des deux forces P et Q, et quelle direction il aura prise? On se convainc facilement qu'il sera au point D, quatrième sommet du parallélogramme construit sur les lignes A B et A C. Il aura donc parcouru la diagonale A D de ce parallélogramme; cette diagonale représente à la fois, et la direction qu'a prise réellement le corps, et la longueur qu'il a parcourue pendant une seconde, c'est-à-dire sa vitesse. En multipliant cette vitesse par la masse du corps, on a la résultante R des forces P et Q.

Si on peut composer deux forces en une seule R, on pourra de même composer cette force R avec une troisième, elles donneront une résultante R′; et cette force R′ avec une quatrième, elles donneront une résultante R″, et ainsi de suite indéfiniment. En un mot, tant qu'il ne s'agit que de la translation, on sait toujours ramener à une seule les forces qui agissent sur un corps. Réciproquement, toute force pouvant être considérée comme la diagonale d'un parallélogramme, on peut la décomposer en autant de forces qu'on voudra, suivant les besoins du problème à résoudre.

Si les deux forces P et Q, agissant simultanément sur un corps, ne faisaient pas d'angle entre elles, en d'autres termes, si elles avaient la même direction, si elles tendaient toutes deux à faire parcourir au corps la même trajectoire, il est clair que le corps se mouvrait suivant leur direction commune; la direction de la résul-

tante R serait donc connue d'avance. Il en serait de même de son intensité, qui serait évidemment égale à $P + Q$.

Telle est en entier la mécanique de la translation, essentiellement fondée par Galilée sur ce principe qu'une translation doit être dite uniforme ou *non transformée* tant qu'elle reste rectiligne et de vitesse constante.

Mais les corps ne se transportent pas seulement dans l'espace; ils peuvent aussi tourner sur eux-mêmes, pirouetter, comme dit Poinsot, autour d'un de leurs points, centre de rotation qui, lui-même, peut ou rester immobile, ou décrire dans l'espace une certaine trajectoire. De là des phénomènes complexes, dont la mécanique de la translation avait fait abstraction, de là la définition devenue nécessaire d'un second mouvement uniforme et d'une seconde inertie.

III

POINSOT ET L'INERTIE DE ROTATION.

Définitions préliminaires : cônes, centres de gravité, ellipsoïdes. — Rotation de la sphère : équation fondamentale des rotations. — Moyennes distances ou bras d'inertie. — Rotation de l'ellipsoïde de révolution. — Rotation d'un corps de figure irrégulière. — Parallélogramme des rotations.

Avant d'entrer dans la mécanique de la rotation, je crois devoir rappeler quelques définitions concernant les surfaces coniques et les centres de gravité, définitions qu'il faut toujours avoir présentes à l'esprit dans la mécanique nouvelle, l'idée de cône et celle de rotation n'étant qu'une seule idée, et les centres de gravité étant les sommets naturels des cônes que nous aurons à considérer. Je dirai aussi quelques mots des ellipsoïdes, surfaces centrées et symétriques, dont la sphère représente le type le plus simple. La vision nette de ces surfaces est nécessaire à l'intelligence des rotations.

Cônes circulaire et elliptique. — Les géomètres appellent cône à base circulaire ou cône circulaire, la forme d'un abat-jour ou d'un entonnoir qui serait absolument pointu. L'extrémité de la pointe est dite sommet du cône. Pour le géomètre, un cône est toujours considéré comme ayant deux nappes; c'est l'ensemble de deux

entonnoirs opposés par leur sommet, et non un seul de ces entonnoirs.

Nous pouvons former une pareille surface d'une façon plus scientifique. Soit un cercle horizontal appelé base du cône; du centre de ce cercle j'élève une verticale, dite axe du cône, d'un point de cette verticale, dit sommet du cône, je mène des lignes à tous les points du cercle : leur ensemble constitue un cône. Ces lignes, que j'ai jointes du sommet du cône aux points du cercle s'appellent génératrices du cône, ce sont bien elles qui l'ont engendré. Dans un cône circulaire, toutes les génératrices ont la même longueur.

Il n'en serait pas de même dans un cône elliptique, surface qu'on obtiendrait en prenant pour base, au lieu d'un cercle, une ellipse ou ovale régulier.

Dans un cercle, tous les diamètres ou droites passant par le centre sont égaux. Il n'en est pas de même dans une ellipse, tous les diamètres sont inégaux, il y en a un qui est majeur ou le plus grand, et un autre qui est mineur ou le plus petit. Ces deux diamètres, perpendiculaires entre eux, prennent le nom de grand et de petit axe de l'ellipse.

Quand on dit l'axe d'un cône, l'axe d'une ellipse, on entend un *axe de figure*, une droite, autour de laquelle la figure est disposée dans un parfaite symétrie. Nous aurons occasion d'employer le mot axe dans un autre sens, pour désigner l'essieu ou barre immobile autour duquel un corps est en train de tourner. Alors ce n'est plus un axe *de figure*, mais un axe de *rotation*. Les deux points où l'axe de rotation perce la surface d'un corps sont les deux pôles de la rotation.

Des centres de gravité. — Quand un corps se meut en vertu de l'inertie, il décrit, avons-nous dit, une ligne droite avec une vitesse constante. Mais il n'y a qu'un point qui puisse, en se mouvant, décrire une ligne, et tout corps, étant étendu, est une infinité de points. Dire qu'un corps décrit une ligne est donc une expression peu exacte. A la vérité, si le corps glisse sans tourner en même temps sur lui-même, tous ses points décrivant à chaque instant des droites égales et parallèles, on peut ne considérer qu'une d'entre elles qui fera connaître toutes les autres. Mais, si le corps, en même temps qu'il glisse, tourne sur lui-même, il n'en

sera plus ainsi. Par exemple, une bille en mouvement sur un billard ne glisse pas seulement, elle roule aussi.

Dès lors il n'y a que le centre de la bille qui détermine une ligne droite, et tous les autres points, tournant autour de ce centre pendant que la bille se meut, décrivent des courbes plus complexes.

De là, pour se rendre un compte exact de toutes sortes de mouvements, la nécessité de déterminer le centre matériel de chaque corps, afin de pouvoir considérer séparément la translation droite ou courbe de ce centre dans l'espace, de l'autre le pirouettement du corps autour de lui.

Si le corps considéré est fait d'une matière homogène, comme du cuivre, et qu'il ait la forme d'une sphère, le centre matériel est le centre de figure, le centre de la sphère. Mais, si le corps n'affecte pas une figure régulière, ou si sa matière n'est pas homogène, il n'en a pas moins un centre matériel.

L'action de la pesanteur ou gravité sur les corps fournit une foule de moyens faciles de déterminer le centre matériel d'un corps ; aussi appelle-t-on vulgairement les centres matériels : les centres de gravité.

Il faut remarquer que le centre de gravité d'un corps est un point tout idéal, qui peut n'être réalisé par aucune matière. Tel est le cas d'une sphère creuse, d'un anneau ou d'un tronçon d'anneau, de tous les corps creux ou fragments de corps creux.

La gravité étant la force qui a permis la première de déterminer les centres matériels, on les appelle, disons-nous, centres de gravité, mais ces points gardent leurs admirables propriétés vis-à-vis de toutes les autres forces naturelles. Leibniz les appelait points substantiels, disant que leur existence idéale était la plus substantielle du monde, car ils sont les centres de passion et d'action des substances. Comme les mille sensations confuses du monde extérieur viennent s'intégrer dans notre cerveau en un sentiment unique, et comme de notre cerveau part la réaction unique qui se diversifie en mille mouvements dans nos divers organes, ainsi les mille chocs, pour nous insensibles, que reçoit à chaque instant une pierre, viennent s'intégrer au centre matériel en un choc unique, et de ce centre part la réaction unique qui se diversifie ensuite en mille mouvements intérieurs dans toutes les particules de la pierre, afin qu'elle puisse continuer d'être, qu'elle ne tombe pas en poussière. De là, dans l'intérieur des corps en apparence brutes et

immobiles, un travail mystérieux, une infinité de vibrations infiniment petites, un équilibre sans cesse détruit et sans cesse reconstruit, dont les lois, variables pour chaque substance, les diversifient les unes des autres. Comme les hommes se distinguent les uns des autres par la manière dont ils subissent les passions et réagissent contre elles, ainsi les substances minérales se distinguent les unes des autres par la manière dont elles subissent les chocs et réagissent contre eux.

Ellipsoïdes. — Partons de l'idée d'une sphère parfaite, choisissons deux pôles, dessinons sur cette sphère un équateur, des parallèles et des méridiens. Dans la sphère, l'équateur et ses parallèles sont des cercles, les méridiens sont des cercles, tous les diamètres, ou droites passant par le centre, sont égaux. Enfin, rappelons-nous que la sphère est *une surface de révolution*, qu'on peut l'engendrer en faisant tourner un demi-cercle autour du diamètre qui le termine.

Maintenant déformons par la pensée cette sphère, supposons que, l'équateur et ses parallèles restant des cercles, les méridiens deviennent des ellipses, nous aurons ce qu'on appelle un *ellipsoïde de révolution* ; cette surface est ainsi nommée parce qu'on peut l'engendrer par la révolution d'une demi-ellipse autour d'un de ses axes ; si cet axe est le petit axe de l'ellipse, l'ellipsoïde sera un *ellipsoïde aplati*. La terre a sensiblement cette forme. Ses méridiens, tous égaux entre eux, sont des ellipses qui ont pour petit axe commun la distance des pôles, et pour grand axe les diamètres tous égaux entre eux de l'équateur ; si l'ellipsoïde de révolution a été engendré par une demi-ellipse tournant au contraire autour de son grand axe, il est dit *ellipsoïde allongé* ou ovoïde. Les méridiens sont des ellipses qui ont pour grand axe commun la distance des pôles, et pour petit axe les diamètres de l'équateur.

Dans les ellipsoïdes de révolution, la ligne qui joint les pôles s'appelle axe de révolution de l'ellipsoïde, ou simplement axe de l'ellipsoïde. Tout est symétrique par rapport à elle dans l'ellipsoïde. Elle est le plus grand de tous les diamètres de l'ellipsoïde, s'il est allongé, le plus petit s'il est aplati.

Tous les autres diamètres de l'ellipsoïde sont rangés autour de cet axe, de telle sorte que l'ensemble de tous ceux qui sont égaux entre eux forme autour de lui un cône circulaire, et les deux bases

de chacun de ces cônes sont deux parallèles équidistants du centre.

Déformons maintenant par la pensée l'ellipsoïde de révolution pour arriver à un ellipsoïde plus complexe, n'étant plus susceptible d'être engendré par révolution; supposons que l'équateur cesse d'être un cercle et devienne une ellipse, qu'en même temps les parallèles deviennent aussi des ellipses semblables à celle de l'ellipse équateur, — c'est-à-dire ayant le même rapport de longueur entre leurs deux axes, — la surface ainsi obtenue s'appelle un ellipsoïde *à trois axes inégaux*.

La raison de ce nom s'explique facilement. Dans la sphère parfaite tous les diamètres étant égaux, il n'y en a pas un qui soit plus spécialement que les autres l'axe de la sphère. Dans l'ellipsoïde de révolution, il y a au contraire un diamètre qui doit être dit, à l'exclusion de tous les autres, l'axe de l'ellipsoïde : c'est l'axe autour duquel la demi-ellipse génétratrice a accompli sa révolution. Mais, cette seconde sorte d'ellipsoïde dont il est maintenant question n'étant plus susceptible d'être engendré par la révolution d'une demi-ellipse, autour d'un de ses axes, — car les méridiens ne sont plus ici, comme dans le cas précédent, des ellipses égales entre elles, — il y a trois diamètres qui, au même titre et à l'exclusion de tous les autres, doivent être appelés axes, parce que la surface est formée autour de chacun d'eux dans une parfaite symétrie. Ce sont le petit et le grand axe de l'ellipse équateur et le diamètre perpendiculaire au plan de cet équateur, à savoir, la ligne correspondante à celle qui joignait, dans le cas précédent, les pôles de rotation. Dans ce nouvel ellipsoïde où méridiens et parallèles sont devenus elliptiques, chacun de ces trois diamètres joue le même rôle que les deux autres dans la symétrie de la figure, et les deux ellipses méridiennes qui passent l'une aux deux extrémités du petit axe, et l'autre aux deux extrémités du grand axe de l'ellipse équateur, peuvent être appelées elles aussi les équateurs de la figure au même titre que celle-ci.

Pour avoir, pour ainsi dire, le squelette d'un *ellipsoïde à trois axes inégaux*, représentons-nous trois droites de longueur inégale, perpendiculaires entre elles, et se coupant réciproquement en leur milieu, centre du futur ellipsoïde. Ces trois droites sont les trois axes ou les trois diamètres principaux du futur ellipsoïde. — Dessinons maintenant trois ellipses, dont chacune ait pour axes deux de ces lignes. Ces trois ellipses, déterminant un système de

trois plans perpendiculaires, sont les trois équateurs de l'ellipsoïde. Les trois axes étant par définition inégaux, il y en a un *majeur*, un *mineur* et un *moyen*.

Maintenant que les idées de cône circulaire ou elliptique, d'ellipsoïde de révolution, d'ellipsoïde à trois axes inégaux, de centre de gravité, sont présentes à notre esprit, la mécanique de la rotation nous est devenue facile.

Je suppose un corps hors d'atteinte de toute force, et se mouvant librement dans l'espace en vertu de son inertie. Premièrement, son centre décrit une ligne droite avec une vitesse constante ; secondement, ce corps tourne sur lui-même pendant que son centre se transporte, il pirouette autour de ce centre, pendant que ce centre l'entraîne avec lui. La mécanique de la translation nous a appris que le mouvement rectiligne du centre persistera indéfiniment et qu'il est de vitesse constante. Le mouvement de rotation continuera-t-il indéfiniment ? Oui, il y a une inertie de rotation comme une inertie de translation ; mais, tandis que le mouvement uniforme ou *non transformé* de translation est un mouvement de vitesse constante, le mouvement uniforme ou *non transformé* de rotation est un mouvement de vitesse *périodiquement* constante. Cette vitesse a une valeur minimum et une valeur maximum ; à chaque instant elle décroît du maximum au minimum, puis croît du minimum au maximum, sans être la même deux instants de suite, mais redevenant périodiquement la même. La longueur de cette période et les valeurs successives de la vitesse pendant sa durée dépendent uniquement de la figure du corps considéré. J'entends sa figure non pas géométrique ou apparente, mais sa figure réelle, c'est-à-dire la disposition de sa masse autour de son centre de gravité. C'est cette nécessité de constater la figure qui rend la mécanique de la rotation bien plus subtile que celle de la translation. Dans la mécanique de la translation, la figure des corps est indifférente ; dans la mécanique de la rotation, elle est tout.

Commençons par examiner le cas le plus simple, celui où le corps a la figure d'une sphère parfaite. En vertu de l'inertie de translation, le centre de cette sphère se transporte en ligne droite ; en même temps cette sphère est en train de tourner sur elle-même en vertu de son inertie de rotation. Comme le mouvement de translation n'a aucune influence sur celui de rotation, pour examiner

plus commodément ce dernier, nous allons supprimer par la pensée le premier; nous supposerons que le centre de la sphère est absolument fixe dans l'espace.

En examinant ce mouvement, nous remarquons d'abord que c'est une *rotation à axe constant*. C'est-à-dire que si pendant une seconde le diamètre autour duquel tourne la sphère la perce aux deux points A et B, dits pôles de rotation, il en sera indéfiniment de même pendant les secondes suivantes; et que, de plus, cette ligne A B, dite axe de la rotation, restera toujours à la même place dans l'espace, c'est-à-dire que, prolongée jusqu'à un plan fixe choisi dans les environs de la sphère, elle le viendra toujours percer au même point.

Cette remarque est essentielle, parce que, si le corps n'était pas sphérique, mais, par exemple, ellipsoïdal, on constaterait que, de seconde en seconde, les pôles de la rotation se sont déplacés sur la surface du corps, et que, l'axe de la rotation s'étant déplacé dans l'espace, est venu percer à divers points le plan fixe.

Cette constance de l'axe de rotation qui ne se déplace ni matériellement dans l'intérieur de la sphère, ni géométriquement dans l'espace, rend l'idée de la rotation des sphères très-claire, surtout lorsqu'on observe que non-seulement l'axe de la rotation est constant, mais aussi que la *vitesse angulaire* de la rotation est constante.

Quand un corps tourne tout d'une pièce sur lui-même, on appelle vitesse angulaire la longueur de l'arc de cercle décrit en une unité de temps, par un point situé à l'unité de distance de l'axe. Ainsi, si l'unité de distance est le mètre, l'unité de temps la seconde, la vitesse angulaire 0,03, un point de la sphère, distant de 1 mètre de l'axe de la rotation, décrira, en chaque seconde, un arc de la longueur de 3 centimètres.

Puisque le corps tourne tout d'une pièce, tout point situé à 1 mètre de l'axe tournera avec cette vitesse de 3 centimètres. Si on veut connaître la vitesse d'un point situé à 2 mètres de l'axe, ou à $\frac{1}{2}$ mètre de l'axe, comme on sait que dans les cercles les longueurs des arcs sont proportionnelles aux rayons, la vitesse de tout point situé à deux mètres est donc 2 fois 3 centimètres ou 6 centimètres; la vitesse de tout point situé à $\frac{1}{2}$ mètre est donc la moitié de 3 centimètres, ou 1 centimètre et 5 millimètres. En d'autres termes, dès qu'on connaît la vitesse angulaire d'une rotation, cette

rotation est entièrement définie, car la vitesse d'un point quelconque s'obtient en multipliant la vitesse angulaire par la distance du point à l'axe.

Si l'on s'attache à considérer isolément un seul point de la sphère, une de ses particules infiniment petites, un de ses corpuscules, comme dit Poinsot, ce corpuscule n'a pas de mouvement de rotation, il ne tourne pas sur lui-même, c'est seulement la sphère considérée dans son tout qui tourne ainsi; le corpuscule, lui, se transporte, il décrit une trajectoire circulaire. C'est cette possibilité de décomposer l'idée d'une rotation en l'infinité de ses translations corpusculaires qui a permis de mesurer exactement et les forces de rotation et les quantités de rotation.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ces mesures, mais nous allons montrer leur parallélisme avec les mesures de la translation.

D'abord, de même que les forces de translation se mesurent à l'état statique et à l'état dynamique, et que l'égalisation de ces deux mesures est le fondement de la mécanique de la translation, les forces de rotation se mesurent à l'état statique et à l'état dynamique, et de l'équation établie entre ces deux mesures sort toute la théorie de la rotation; seulement les forces de rotation ne sont pas, comme celles de translation, directement exprimables en poids, à l'état statique, mais seulement indirectement.

Tout le monde connaît, en effet, la balance romaine, où deux poids inégaux se font équilibre, parce que le petit est plus éloigné que le gros de l'axe de suspension du levier. Puisque le levier ne tourne ni d'un côté ni de l'autre, il y a là cependant deux forces de rotation égales. La mesure d'une force de rotation à l'état statique n'est donc pas seulement un certain poids, mais ce poids multiplié par la longueur de son bras de levier, mais ce poids multiplié par la distance de la force au centre de gravité du système.

Par exemple, nous avons choqué une sphère libre, par un choc estimé de 20 kilogr. sur un ressort. Si la direction de ce choc passe par le centre de gravité, nous ne produirons aucune rotation, car le bras de levier devient égal à 0, et 20 multiplié par 0 égale 0. L'intensité de cette rotation croîtra avec la distance du centre de la sphère à la direction du choc. Si cette distance est de 5 mètres, la force de rotation qui aura agi ne sera pas 20,

mais 5 fois 20, ou 100. L'axe de la rotation qui en résultera sera le diamètre de la sphère perpendiculaire au plan qui contient la direction du choc et le centre de la sphère.

Ce mouvement, une fois déterminé, nous donne une seconde manière d'apprécier la force de rotation, non plus, cette fois, par la statique, mais par la dynamique, par la quantité de rotation produite. Du choc, en effet, est résultée une certaine vitesse angulaire; de plus, le corps a une certaine masse; enfin, les distances des différents points de la sphère à l'axe de rotation varient depuis 0, pour les points situés sur l'axe et ne tournant pas, jusqu'à ceux qui sont sur l'équateur et qui sont distants de l'axe de tout le rayon de la sphère. La géométrie, par des procédés indépendants de la mécanique, apprend à déterminer la distance moyenne de points situés à des distances inégales d'une droite. En établissant une relation entre la masse de la sphère, sa vitesse angulaire, sa distance moyenne, nous allons trouver une seconde expression de la force de rotation qui l'anime. Cette seconde expression égalée à la première nous donnera l'équation fondamentale de la mécanique des rotations.

Soit, dans ce cas particulier, la masse de la sphère 50, la vitesse angulaire $\frac{1}{2}$ mètre par seconde, la distance moyenne des différents points de la sphère à l'axe de rotation, 2 mètres.

Puisque la vitesse d'une particule quelconque de la sphère s'obtient en multipliant la vitesse angulaire par la distance de la particule à l'axe, et puisque la distance moyenne de toutes les particules est, par hypothèse, 2, et la vitesse angulaire $\frac{1}{2}$, la vitesse moyenne de toutes les particules de la sphère est ici $2 \times \frac{1}{2}$ ou 1. En d'autres termes, $2 \times \frac{1}{2}$ est la vitesse moyenne que possède la masse de la sphère. Cette masse est, par hypothèse, 50, et nous avons dit, au chapitre précédent, que la masse d'un corps multiplié par sa vitesse s'appelle la quantité de mouvement (de translation) de ce corps.

En tant qu'elle serait un agent de translation, notre sphère agirait donc comme un poids de $50 \times 2 \times \frac{1}{2}$, ou de 50 kilogr. Mais ici il n'agit pas comme agent de translation, mais comme agent de rotation, et le bras de levier sur lequel il agit est long de 2 mètres, en moyenne. Il représente donc une force de rotation de $50 \times 2 \times \frac{1}{2} \times 2$, ou 100 kilogr., ainsi que nous l'avions trouvé par une première mesure.

Je n'ai pas effectué les multiplications, afin de montrer que la distance moyenne 2 entre dans le calcul au carré. Ainsi la quantité de mouvement de rotation dont est animé un corps en vertu de son inertie a pour mesure sa masse, multipliée par sa vitesse angulaire, multipliée par le carré de la distance moyenne de ses points à l'axe de rotation. Ici éclate le parallélisme nécessaire entre la mécanique de la translation et la mécanique de la rotation.

L'équation fondamentale de la mécanique de la translation est, ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent,

$$F = mv.$$

Dans cette équation, F représente la force de translation qui a agi un seul instant sur le corps, estimée par la statique; m est la masse du corps qui a été soumis à son action, v est la vitesse constante du mouvement de translation qui en est résulté.

De même l'équation fondamentale de la mécanique de la rotation est

$$F = mvr^2.$$

F représente la force de rotation qui a agi un seul instant sur le corps, estimée par la statique; m est la masse du corps qui a été soumis à son action, v est la vitesse angulaire constante du mouvement de rotation qui en est résulté; enfin r est la moyenne distance des particules du corps à l'axe de rotation.

Poinsot appelle cette distance moyenne *bras d'inertie*. Dans une sphère où tous les diamètres sont égaux, il n'y a qu'un bras d'inertie, ou, en d'autres termes, le bras d'inertie a une valeur unique, quel que soit celui des diamètres autour desquels tourne le corps. Il n'en est pas de même d'un ellipsoïde; puisque les diamètres sont inégaux, les bras d'inertie le sont aussi. Plus le diamètre est long, plus le bras d'inertie correspondant est petit, et réciproquement. Le bras d'inertie le plus grand est donc celui qui correspond à l'axe mineur, le bras d'inertie le plus petit est donc celui qui correspond à l'axe majeur, et le bras d'inertie moyen est celui qui correspond à l'axe moyen.

Résumons la rotation de la sphère. Comme figure, elle jouit de cette double propriété, tous ses diamètres sont égaux, tous ses bras d'inertie sont égaux. De cette double propriété figurée, résulte

qu'une sphère, qui tourne sur elle-même en vertu de l'inertie, conserve pendant toute la durée de son mouvement un même axe de rotation et une même vitesse angulaire.

Cas de l'ellipsoïde de révolution. — Si le corps qui tourne librement sur lui-même, autour de son centre fixe, est, non plus une sphère parfaite, mais un ellipsoïde de révolution (c'est le cas de la terre), la vitesse angulaire de la rotation reste constante, comme dans le cas précédent, pendant la durée indéfinie du mouvement; mais l'axe de rotation se déplace à chaque instant.

Ce déplacement est de deux sortes : 1° Chacun des deux pôles de la rotation change de place à chaque instant sur la surface de l'ellipsoïde, il y décrit une ligne; cette ligne est un cercle dont le centre est sur l'axe de l'ellipsoïde. Ces deux cercles placés dans deux plans parallèles également distants du centre sont donc les deux bases d'un cône circulaire ayant le centre pour sommet, et ayant pour axe celui de l'ellipsoïde, et dont les génératrices sont les positions successives de l'axe de rotation dans l'intérieur du cône. 2° L'axe de rotation change de place à chaque instant dans l'espace. Dans le cas de la sphère, nous avons dit que l'axe de rotation, étant fixe pendant toute la durée du mouvement, venait toujours percer au même point A un plan fixe arbitrairement choisi aux environs du corps tournant. Dans le cas présent, ce point A décrit une courbe sur le plan fixe. Si on choisit pour ce plan fixe (qu'on peut choisir quelconque) un plan tangent à l'ellipsoïde, à un des deux pôles de la rotation, pôle qui devient, en conséquence, le point A, la courbe décrite par ce point sur le plan fixe est un cercle.

Puisque, en décrivant ce cercle, le pôle A entraîne le corps avec lui, celui-ci roule sur ce plan fixe; on peut donc dire que : *lorsqu'un ellipsoïde de révolution tourne sur lui-même, seulement en vertu de son inertie, il roule sans glisser sur un seul de ses plans tangents.* Si on voyait qu'après avoir roulé pendant un certain temps sur un seul de ses plans tangents, il se mettait à rouler sur un autre, on pourrait affirmer qu'une force de rotation vient d'agir sur lui, et a modifié le mouvement dont il était animé en vertu de sa seule inertie.

Remarquons, avant de passer au cas suivant, que les positions successives de l'axe de rotation formant un cône circulaire dont

l'axe est l'axe de l'ellipsoïde, si l'ellipsoïde est en train de tourner autour de son axe, il continuera à tourner autour de lui indéfiniment, car une ligne fait avec elle-même un angle nul. Le cône des axes de rotation se réduit ici à une droite unique. L'ellipsoïde se conduit comme la sphère ; il a un mouvement de rotation *à axe fixe*, quand on le fait tourner autour de son axe.

Cas d'un corps de figure quelconque. — Tout corps, quelque irrégulière que soit sa figure matérielle (la disposition de ses différentes particules autour de son centre de gravité), possède trois axes principaux de rotation. On appelle axe principal de rotation une droite, passant par le centre de gravité du corps, qui jouit de cette propriété que si un choc instantané a déterminé une fois la rotation du corps autour de lui, cette rotation se continuera indéfiniment, sans déplacement d'axe, ni dans l'intérieur du corps, ni dans l'espace. On peut déterminer les axes principaux d'un corps, soit directement par l'expérience, soit par la théorie géométrique des *moyennes distances* ou *bras d'inertie*. On trouvera par les deux méthodes que ces trois axes sont perpendiculaires entre eux. Si maintenant on détermine sur ces trois axes, à partir du centre, trois longueurs *réciproquement* proportionnelles aux bras d'inertie qui leur correspondent [1], et qu'on forme un ellipsoïde avec ces trois longueurs pour demi-axes, on obtiendra ce qu'on appelle l'*ellipsoïde central du corps*.

Cet ellipsoïde central, supposé lié invariablement au corps et tournant avec lui, rend compte de toute sa rotation. On peut supprimer le corps par la pensée et le supposer réduit à son ellipsoïde central.

Mouvement que prend l'ellipsoïde central d'un corps en vertu de l'inertie de rotation. — L'ellipsoïde dont il est question ici étant *à trois axes inégaux;* et non, comme dans le cas précédent, un ellipsoïde *de révolution*, la vitesse de la rotation varie à chaque

[1] *Réciproquement proportionnel* veut dire que, sur l'axe auquel correspond le plus grand des trois bras d'inertie, on portera la longueur du plus petit des trois bras d'inertie, et que, sur l'axe auquel correspond le plus petit des trois bras d'inertie, on portera la longueur du plus grand des trois bras d'inertie. Enfin, la longueur du bras d'inertie moyen sera portée sur l'axe correspondant.

instant, et les déplacements de l'axe de rotation deviennent si complexes, qu'il serait difficile de se les représenter directement; mais on y parvient facilement en transformant l'idée du mouvement examiné dans le cas précédent.

1° Les positions successives de l'axe de rotation dans l'intérieur de l'ellipsoïde, au lieu de former un cône circulaire, forment un cône elliptique dont l'axe est, suivant les cas, ou l'axe majeur ou l'axe mineur de l'ellipsoïde. Comme l'ellipse base de ce cône n'est point une ellipse semblable à l'équateur correspondant, ce cône n'intercepte pas deux ellipses sur la surface de l'ellipsoïde, mais deux courbes qu'on se représentera assez bien en se figurant ce que deviendrait une ellipse qu'on aurait courbée suivant ses deux axes (dans le même sens). Ces deux courbes sont, pour ainsi dire, deux *ellipses gauches*. Dans le cas présent, les différents axes de rotation n'étant plus des diamètres égaux entre eux de l'ellipsoïde, la vitesse angulaire de la rotation varie à chaque instant, et elle est à chaque instant proportionnelle à la longueur du diamètre de l'ellipsoïde autour duquel le corps est en train de tourner.

2° Dans le cas précédent, la courbe décrite par le pôle de rotation sur le plan fixe (choisi tangent à l'ellipsoïde) était un cercle; dans le cas présent, elle devient un *cercle ondulé*. On peut se représenter cette courbe en supposant qu'on dessine, sur le contour d'un cercle, des dents rondes, alternativement convexes et concaves; on obtient ainsi une ligne assez analogue au profil d'une roue d'engrenage. Toutes ces dents ou ondes sont égales entre elles; chaque onde convexe à l'onde concave qui la suit. Comme la longueur d'onde n'est pas généralement une partie exacte de la circonférence du cercle, quand le contour du cercle est achevé par le roulement de l'ellipsoïde sur son plan tangent, les nouvelles ondes qu'il dessine s'enchevêtrent dans celles déjà dessinées.

Ces différences constatées entre le cas précédent et le cas présent, nous pouvons définir entièrement l'inertie de rotation, ou, ce qui revient au même, le mouvement uniforme ou non transformé de rotation :

Un corps possède un mouvement uniforme de rotation, il n'est soumis à l'action d'aucune force, lorsque son ellipsoïde central roule sans glisser sur un seul de ses plans tangents; la vitesse de ce mouvement est périodiquement constante.

Pour examiner plus à l'aise les phénomènes de rotation, nous avons admis que le centre de gravité des corps considérés était fixe dans l'espace; si, en même temps que le corps tourne, son centre se transporte, rien n'est changé à la rotation. Seulement, pour s'en rendre compte, il faut supposer que le plan tangent, que nous avions admis immobile, suit la même trajectoire que le centre; en d'autres termes, que trois de ses points décrivent des lignes parallèles à la trajectoire du centre.

La définition complète du mouvement uniforme ou *non transformé* de rotation, qui fonde la théorie des rotations, l'achève en même temps. Car il n'y a pas de mouvement uniformément varié de rotation, comme il y a un mouvement uniformément varié de translation. La vitesse du mouvement uniforme de translation étant une quantité constante, on s'élève facilement de l'idée de ce premier mouvement à l'idée d'un mouvement dont la vitesse croîtrait proportionnellement au temps. Mais, la vitesse du mouvement uniforme de rotation n'étant que *périodiquement* constante, l'idée d'une période qui croît proportionnellement au temps ne présente plus de sens mécanique. Donc, tandis que dans la mécanique de la translation on peut considérer tantôt des forces agissant un seul instant sur les corps, tantôt des forces agissant continuellement sur eux, dans la mécanique de la rotation on n'a occasion de considérer que des forces instantanées. En d'autres termes, l'idée de la force n'est, dans cette mécanique, qu'un mot nouveau pour représenter la quantité de rotation que le corps possède à un instant donné.

Quant au problème de la composition des forces de rotation, il est le même que celui de la composition des forces de translation. La construction dite *parallélogramme des vitesses* lui est également applicable.

Pour la translation, nous avons dit : Si deux vitesses représentées, en grandeur et en direction, par les lignes AB et AC, agissent simultanément sur un corps, la diagonale AD du parallélogramme construit sur ces deux lignes représentera, en grandeur et en direction, la résultante de ces deux vitesses.

Pour la rotation, nous disons : Si deux vitesses angulaires représentées pour leur grandeur et pour la direction de l'axe autour duquel chacune d'elle, prise isolément, ferait tourner le corps, par les lignes AB et AC, agissent simultanément sur un

corps, la diagonale A D du parallélogramme construit sur ces deux lignes représentera la grandeur de la vitesse résultante et la direction de l'axe de la rotation résultante.

IV

DESCARTES, LEIBNIZ, POINSOT, ARISTOTE.

La quantité de mouvement de Descartes. — La force vive de Leibniz. — Poinsot les réconcilie : la force vive, c'est la vraie quantité de mouvement. — Le mouvement naturel et le mouvement violent d'Aristote. — Justesse des idées d'Aristote, rajeunies par la science moderne.

Ici se terminent les discussions sur les principes métaphysiques de la mécanique, qui ont agité si longtemps le monde savant.

Descartes admettait une matière n'ayant d'autre propriété que l'étendue, une matière formant par elle-même un tout immobile, continu, sans pores, de densité constante, identique à elle-même en tous ses points. La pensée ou coagitation divine avait, à l'origine, et une fois pour toutes, agité cette matière ; elle avait poussé chacun de ses points, avec une certaine vitesse et dans une certaine direction. Toute la nature, avec ses phénomènes infiniment complexes, périodiques ou modifiables à l'infini, s'en était suivi d'elle-même. Descartes, supposant que la pensée divine avait agi un seul instant au début, était forcé d'admettre, pour que la nature ne rentrât pas dans le repos, que *la quantité de mouvement est toujours égale dans l'univers.*

Après la mort de Descartes, Leibniz protesta avec énergie contre cet aphorisme, il donna de sa fausseté des démonstrations si convaincantes, que, si Descartes eût vécu, il se fût rendu à son avis, ce que ne firent pas, bien entendu, les cartésiens, qui avaient déjà fait de leur maître un nouvel Aristote, dont il fallait se contenter de commenter les vues, sans y rien ajouter. La scolastique, à peine tuée par Descartes, se reformait en son nom. Les d'Alembert et les Diderot ont été plus équitables. Ils adoptèrent l'opinion de Leibniz, qui soutenait que ce n'est pas la *quantité de mouvement* qui est toujours égale dans l'univers, mais la *quantité de force disponible.* Leibniz appelle la force disponible *la force vive*, et avec grande raison ; car ce qui fait que notre corps vit, ce n'est pas la force qu'il dépense dans l'instant présent, mais celle qu'il possède disponible pour les instants suivants. Quand cette force dispo-

nible a disparu, il meurt, il cesse de vivre, d'où elle est bien nommée la force vive. Leibniz ne croit pas que la force vive soit possédée seulement par les corps que nous appelons vivants, par un chien, un arbre, mais aussi par tout point matériel. Il se figure, bien entendu, le point matériel non à la façon grossière des cartésiens et des newtoniens, comme n'occupant aucune étendue, comme un point mathématique, mais à la façon de Poinsot, comme un corpuscule infiniment petit, ayant un centre de gravité avec lequel on peut le confondre dans les calculs de la mécanique ordinaire où l'on s'occupe de mouvements immenses par rapport à son étendue, mais dont il faut le distinguer avec soin dans la mécanique moléculaire. Ce corpuscule, c'est pour ainsi dire un petit muscle de forme ellipsoïdale, susceptible de se contracter et de se dilater autour de son centre, ayant une vie propre comme la cellule organique, des absorptions et des sécrétions que nous appelons dégagements de chaleur et d'électricité. La force vive que possède toujours disponible chacun de ces corpuscules, étant très-simple par rapport à celle que nous possédons, peut changer de nom et s'appeler simplement la force de *résistance* ou de retour en arrière.

Si un corps, une boule de cuivre par exemple, n'est véritablement qu'un agrégat de pareils corpuscules infiniment petits, il pourra conserver après ce choc la même figure qu'avant. Le choc n'a poussé directement qu'un petit nombre de ces corpuscules, il les a déformés et les a poussés sur les corpuscules environnants, dans mille directions. Ceux-ci ont été poussés et déformés à leur tour ; mais en un instant chacun a repris son ancienne forme en vertu de son élasticité, et par suite repoussé ceux qui le choquaient. Ceux-ci sont retournés en arrière à la place qu'ils occupaient dans le corps avant le choc. Une fois retourné à son ancienne place, chaque corpuscule la dépasse en vertu de la vitesse acquise et se met à vibrer ou osciller autour d'elle, repoussé aux deux extrémités de sa course par les corpuscules voisins qu'il repousse. Cette infinité de petites vibrations propres à chaque point du corps et dues à leur force de résistance, n'ont pas seulement pour effet de maintenir intacte la figure de la boule de cuivre, elles ont pour effet d'intégrer le choc à son centre de gravité, qui, s'il est libre de se transporter, le fera avec une vitesse proportionnelle au choc. Si la direction du choc ne passe pas par le centre de gravité, le corps en même temps pirouettera autour de son centre. Si le

corps gazeux, liquides ou solides étaient divisibles en points matériels mathématiques et inertes, et non en corpuscules vivants, élastiques, dont chacun a en lui, par cela seul qu'il est, la force de résistance, nous ne pourrions les toucher.

Quelque admirables que soient ces visions de Leibniz, quelque ampleur qu'elles aient prises sous le souffle puissant de Diderot, elles pouvaient cependant passer pour des rêves jusqu'au jour où Poinsot est venu, car il leur manquait, pour se prêter aux calculs pratiques, une définition parfaite du mouvement uniforme de rotation, il leur manquait bien plus, il leur manquait l'idée même que cette définition est un des fondements nécessaires de la mécanique.

En effet, si les points matériels, dont l'agrégation constitue tout corps minéral, ne sont pas des points mathématiques, mais des corpuscules très-petits, ayant chacun son centre de gravité et des dimensions réelles autour de ce centre, susceptibles par conséquent de pirouetter autour de lui, le choc n'a pas dû seulement faire osciller le centre de chaque corpuscule sur une trajectoire droite ou courbe, mais déterminer le mouvement de rotation de chaque corpuscule autour de son centre. Celui donc qui voudra, à un instant donné, se rendre un compte exact, complet, *intégral* de tous les mouvements particulaires d'un corps, devra faire deux intégrations distinctes; il devra, d'une part, intégrer les quantités de mouvement de translation dont sont animées les particules ; de l'autre, leurs quantités de mouvement de rotation.

Cet énoncé accorde pour jamais les cartésiens et les leibniziens.

Oui, Descartes avait raison, la quantité de mouvement est toujours égale dans l'univers; mais cette idée juste le menait à des résultats faux, parce qu'il ne tenait compte que de la quantité de translation, et non de la quantité de rotation ; or c'est seulement la somme de ces deux quantités qui, à chaque instant, est la même dans l'univers. Oui, Liebniz avait raison, tout point matériel n'est pas un point mathématique, mais un muscle de forme ellipsoïde (ou pouvant être considérée comme telle par la construction de l'ellipsoïde central), un corpuscule élastique possédant à chaque instant, sous peine de tomber dans le néant, une force vive, une force de résistance, une force disponible pour l'instant suivant. Mais cette force disponible pour l'instant suivant a pour mesure la quantité de translation et de rotation dont le corpuscule est animé dans l'instant présent.

Les cartésiens, une fois réconciliés avec les leibniziens, se réconcilient par cela même avec les péripatéticiens. Selon ceux-ci, toute substance a des mouvements *naturels*, dans lesquels elle persiste indéfiniment, tant qu'elle n'est pas soumise à l'action d'autres substances, à la *violence* qu'elles lui font.

C'est par cette violence réciproque que les différentes substances se transforment et donnent naissance à des substances nouvelles.

Cette opinion est redevenue aujourd'hui soutenable. En effet, les chocs sont incessants dans la nature; quand un corps ne paraît point choqué, en tout ou en partie, par d'autres, même par l'air, au moins l'est-il par ce corps universel que les modernes ont appelé éther, et dont les mouvements causent la chaleur, la lumière, l'électricité.

A quelque moment donc que nous considérions un corps, simple ou composé, un volume déterminé, solide, liquide ou gazeux, chacun de ses points matériels est en train d'osciller sur une certaine trajectoire, et en même temps de tourner sur lui-même, d'après la forme de son ellipsoïde central. Le système de toutes ces oscillations et de toutes ces rotations moléculaires est le mouvement *naturel* de la substance au moment considéré; mouvement naturel, dans lequel elle persisterait éternellement, si subitement étaient anéanties les autres substances de l'univers, seules susceptibles de la transformer par leur violence.

E. Lamé.

CHIMIE

DEUX CHIMISTES OUBLIÉS [1]

Si je voulais faire comprendre à un enfant cette grande époque de l'humanité si heureusement nommée la Renaissance, je le conduirais au grand salon du Louvre, tout droit devant ce beau tableau du Pérugin qu'a acquis le Musée il y a une dizaine d'années, lors de la vente de la galerie du roi de Hollande.

Il aurait là un bel exemple de cette peinture du moyen âge, encore tout assujettie à la règle et à la tradition. Il serait frappé de l'ordonnance monacale de cette toile, de sa froide symétrie; il comprendrait que, si le maître a régulièrement distribué de chaque côté de la Vierge, et se faisant pendant, deux saintes et deux anges, c'est que l'usage l'exigeait. On devait obéir, en peignant un tableau de sainteté, à un certain nombre de conventions; l'école enseignait à reproduire toujours sous le même type triste et maigre et la Vierge et l'enfant Jésus, et l'artiste suivait respectueusement les leçons qu'il avait reçues.

Je n'aurais pas grand chemin à faire pour conduire ensuite mon jeune ami devant l'*Ensevelissement du Christ* qu'a peint le Titien. Mon compagnon, à coup sûr, serait frappé de la liberté qui règne

[1] *Essays* de Jean Rey, docteur en médecine, sur la recherche de la cause pour laquelle l'estain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine. Bazas, 1630. — Réédité par Gobet, 1777. (Il existe un exemplaire de l'édition de 1630 à la bibliothèque Mazarine; l'édition de 1777 n'est pas rare.) — *Tractatus quinque medico-physici*, par Jean Mayow, docteur en médecine. Oxford, 1662. (Un exemplaire provenant de la collection de M. de Blainville se trouve à la bibliothèque du Muséum d'histoire naturelle.)

dans cette composition, et le contraste qui existe entre ces deux peintures lui ferait comprendre la grande réforme qui s'était faite dans l'art. Il n'y a plus ici ni règle ni symétrie; le peintre a reconquis sa liberté, il a oublié les enseignements de l'école, il a franchement abordé sa toile; chacun des acteurs de cette triste scène n'a plus une pose de convention, les mouvements, les gestes sont naturels; aussi la vie circule, le sang coule sous la peau brunie des robustes porteurs, et rend plus triste et plus lamentable la pâleur, l'affaissement du divin cadavre.

La Renaissance, c'est, dans toutes les sphères où s'exerce l'activité humaine, une transformation semblable à celle de la peinture passant du Pérugin au Titien. — C'est l'humanité reprenant possession d'elle-même, cessant de répéter la monotone chanson de sa nourrice, relevant la tête et fixant les yeux.

Au moyen âge, nul n'ose s'écarter en rien de ce qu'enseigne l'école; la théologie impose ses lois, et tout le monde obéit. A l'époque suivante, au contraire, la liberté renaît, l'artiste s'affranchit des règles, l'inspiration devient son seul guide; le savant n'apprend plus, il observe; il jette ses vieux manuscrits pour commencer à épeler le grand livre toujours ouvert de la nature.

La Renaissance, c'est la jeunesse de notre civilisation; c'est l'exubérance d'un garçon jeune et fort, débarrassé tout à coup de la férule du pédagogue, des tendres soins de la famille, aspirant pour la première fois à pleins poumons l'air pur de la liberté, et se jetant dans le tourbillon de la vie avec l'audace et l'entrain de ses vingt ans.

La doctrine du libre examen pénètre partout; sous son inspiration féconde, comme les beaux-arts, les sciences se transforment! Arrêtées depuis l'antiquité, elles reprennent leur course; les découvertes s'accumulent comme par enchantement, et amènent derrière elles tous ces bienfaits matériels dont jouissent les hommes de notre temps.

Le mouvement, sensible d'abord dans les arts plastiques, se communique aux sciences d'observation. L'astronomie, la géographie, font plus de progrès en cinquante ans que pendant toute l'antiquité. La physique commence sa réforme avec Galilée. Au dix-septième siècle elle se trouve dans toute sa splendeur : Torricelli et Pascal pèsent l'atmosphère, voient le mercure, soutenu par la pression de l'air, monter et descendre dans le tube de verre du

baromètre, et refléter fidèlement les immenses ondulations de l'océan aérien, dont les vagues passent en mugissant au-dessus de nos têtes. Descartes et Newton suivent la marche de la lumière qui se brise en traversant les corps diaphanes; ils font tomber sur un prisme de verre les blancs rayons du soleil, pour leur voir revêtir les brillantes couleurs de l'arc-en-ciel.

Dès le dix-septième siècle la physique est fondée; entraînée par le grand mouvement de la Renaissance, ele prend son essor, elle avance chaque jour, et il ne sera plus question pour elle de ces brusques révolutions capables d'ébranler jusqu'à ses fondements.

Comment, au milieu de cet épanouissement général, la chimie reste-t-elle en arrière? La chimie, cultivée avec passion pendant le moyen âge, qui avait déjà donné dans la céramique de magnifiques résultats avec Palissy, qui armait la médecine de médicaments héroïques avec Paracelse et Basile Valentin; la chimie, qui avait ses réactifs, les acides puissants, les bases énergiques, qui au premier abord semblait devoir devancer toutes les sciences, se traîne cependant péniblement, loin derrière elles, jusqu'à la fin du dix-huitième siècle.

Dans le brillant cortége de poëtes, d'artistes, de savants, qui donne, en France, au siècle de Louis XIV un si vif éclat, on ne rencontre pas un chimiste; et faut-il en nommer un, on cherche, on hésite et on ne trouve pas.

Si, s'arrêtant sur l'exception singulière que présente la chimie à la marche générale des sciences, on veut en pénétrer le mystère, l'étonnement redouble. On s'aperçoit, en effet, que tous les éléments nécessaires à cette révolution avortée existaient dès le commencement du dix-septième siècle.

Deux hommes, en effet, ont trouvé alors les véritables bases de la science; mais ces deux hommes, morts jeunes, sont restés presque inconnus de leurs contemporains et n'ont pas tardé à être complétement oubliés.

On a bien abusé des chefs-d'œuvre inconnus et des génies incompris; nous ne craignons pas cependant qu'on nous reproche de tomber dans ce travers en rappelant les titres qu'ont à vivre dans la mémoire de tous les amis des sciences le Français Jean Rey et l'Anglais Jean Mayow. Plusieurs fois déjà de savants historiens ont appelé sur eux l'attention; mais Fourcroy a beau, en l'an VII,

écrire un long mémoire[1], M. Hœfer[2], M. Chevreul[3], répéter que le dix-septième siècle a eu aussi ses grands chimistes, leur nom ne prend pas l'éclat qu'il mérite. C'est pour réagir encore une fois contre cet oubli que nous voulons résumer ici les travaux de Jean Rey et de Jean Mayow, et prouver que, si la chimie a fait seulement au dix-huitième siècle sa révolution, elle avait eu au dix-septième sa renaissance.

I

On a peu de détails sur la vie de Jean Rey; il est né à Bugue, sur la Dordogne, en Périgord, probablement vers la fin du seizième siècle; après s'être fait recevoir docteur en médecine, il va se fixer à la forge de Roche-Beaurant, dont son frère était propriétaire. C'est là qu'il consacra à l'étude des sciences, à une correspondance assez suivie avec quelques amis, le temps que lui laissèrent des affaires d'intérêt très-embrouillées, auxquelles il lui fallut bientôt se livrer tout entier.

Au commencement du dix-septième siècle, la science n'était ni fondée ni organisée; on n'écrivait guère de mémoires, et c'est souvent sous forme de correspondance, pour répondre à l'interrogation d'un ami, pour lui proposer un problème, que sont émises quelques-unes des grandes vérités dont nous sommes redevables à cette époque. — L'étude de la nature n'a pas encore, pour ces grands esprits que préoccupe tant la théologie, l'importance qu'elle mérite; ils y consacrent un instant, font un effort, puis retournent bien vite à ces discussions sans fin, dont on ne peut médire cependant, puisqu'elles nous ont valu les *Provinciales* et le *Discours sur la Méthode*.

On sait que c'est dans une lettre adressée à l'un de ses amis que Fermat a donné l'énoncé de ce fameux théorème dont la solution n'est pas encore complète; c'est aussi à l'instigation de l'un de ses correspondants, l'apothicaire Brun de Bergerac, que Jean Rey se met en quête de lui donner une réponse à sa question : « *Pourquoi*

[1] *Annales de chimie.*
[2] *Histoire de la chimie.*
[3] *Journal des savants* (1850-1851).

l'estain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine. » Telle fut l'occasion des *Essays*, qui, avec deux ou trois lettres adressées au père Marin Mersenne, minime de Paris, représentent tout ce qui nous reste du chimiste Jean Rey.

Les *Essays* sont simplement la solution d'une question spéciale, mais dont l'importance est immense pour la compréhension nette du phénomène de la combustion; et, la lumière faite sur le point étudié par Jean Rey, toutes les questions semblables s'éclairaient d'elles-mêmes.

Dans l'ouvrage du chimiste périgourdin se trouvent aussi en germe deux vérités qui, fécondées, eussent pu produire les plus brillants résultats. Ainsi, comme on le verra, cet ouvrage, sous une apparence modeste, touche aux questions les plus importantes qu'ait eu à résoudre la science.

Les *Essays* sont dédiés à Mgr le prince de Sedan[1], et c'est dans l'Espitre dédicatoire que se trouve indiqué, dans le style un peu précieux de l'époque, le but de l'ouvrage.

« Une question s'estoit esmüe, des plus ardües que la philosophie aye jamais produit. L'estain estant mis dans un vase et réduit en chaux par la force du feu, après avoir perdu beaucoup de sa substance en fumées, sans y adjouter chose aucune, son poids se trouve néantmoins fort accreu. D'un effect si manifeste, la cause estoit occulte tant et plus. Chacun en disoit sa pensée et je fus semons d'en dire la mienne, qui ne fut pas si tost esclose, qu'on la vint harceler de divers lieux. De sorte qu'il me fallut entrer en lice pour joindre les contretenans. Mais d'occuper ores vos oreilles en racontant le succès de ces jouctes, la modestie ne me le permet pas. Vray est que, comme cet ancien conquereur des Gaules, j'ai escript mes propres exploits : ce livret n'en est que l'histoire. Livret auquel estant pressé par mes amis de faire voir le jour, je n'y ai pu consentir sans que vostre nom rayonnant d'honneur feut posé tout au devant de lui, tout au plus haut de son frontispice. Car, contenant une doctrine nouvelle et contrariante en plusieurs points à la philosophie commune, j'ai préveu que plusieurs bruiraient à l'encontre, jusqu'à esmouvoir des tonnerres : mais qu'estant comme à l'abri de vos lauriers, il seroit en tout cas garanti de

[1] Frère du grand Turenne.

leurs foudres. Puis, sçachant que les choses paroissent toujours de la couleur du verre au travers duquel on les voit, j'ai creu ne lui pouvoir donner de lustres plus industrieux que de le faire voir à travers la splendeur de votre nom. »

La solution pour nous se résume en deux mots : le plomb et l'étain chauffés à l'air se combinent avec l'oxygène atmosphérique, donnent des oxydes plus lourds que les métaux primitifs, puisqu'ils sont formés par ces métaux auxquels vient s'ajouter l'oxygène, dont nous savons parfaitement apprécier la pesanteur.

En 1630, la réponse n'était pas si facile à faire ; Galilée avait bien démontré déjà la pesanteur de l'air, mais depuis peu de temps ; et ses expériences n'étaient nullement connues en France. Les beaux travaux de Torricelli sur le baromètre sont de 1643. Ainsi, Jean Rey n'aborde la question qu'avec les connaissances que lui transmettent les anciens. Or, loin de croire que l'air était pesant, on enseignait à cette époque qu'il était léger, c'est-à-dire qu'il avait naturellement un mouvement vers le haut, et on montrait dans les écoles une expérience qui donnait une représentation de ces mouvements vers le haut, qu'on croyait appartenir essentiellement à deux des quatre éléments, l'air et le feu. C'est par l'attaque des mouvements de ces éléments légers que débute Jean Rey.

« C'est par la pesanteur dont la matière des quatre éléments est plus ou moins revestue qu'ils sont séparés entre eux et portés chacun en son lieu, selon que requiert la génération des mixtes et l'ornement de l'univers. Car cette matière, remplissant de tout point l'espace enfermé sous la courbure du ciel, est continuellement poussée par son propre poids vers le centre du monde. Vray est que la terre, comme plus pesante, occupe promptement ce lieu : et forçant ses confraires à la retraite, fait que l'eau, seconde en pesanteur, soit aussi seconde en place : si, que l'air, chassé du plus bas et second lieu, se restraint au troisième, laissant au feu, le moins pesant de tous, la suprême région pour faire sa demeure. Les chimistes nous fournissent une agréable représentation de ceci lorsqu'ils prennent de l'esmail noir pulvérisé, de la liqueur de tartre, de l'eau-de-vie rendue bleuâtre avec le tournesol, et de l'esprit de térébenthine rougi d'orcanette : et jettant le tout dans

une phiole, ils l'agitent jusques à ce qu'il s'en fasse un mélange confus. Alors, donnant le repos au vaisseau, on voit à l'œil avec plaisir le desbrouillement se faire. L'esmail gagne le bas, nous figurant la terre. La liqueur de tartre l'avoisine, représentant l'eau. L'eau-de-vie, semblable à l'air, occupe le troisième lieu; et l'esprit de térébenthine, pour démontrer le feu, se vient camper en la plus haute place. Tout ceci se fait par le bénéfice de la pesanteur, selon que dans ces corps elle est largement ou escharcement départie. »

Rien n'est léger, dit encore Jean Rey dans son second *Essay* : « La légèreté est un vocable qui ne signifie rien d'absolu en la nature : si, qu'il faut le rejetter, ou, si nous le retenons, que ce soit pour dénoter seulement une relation ou rapport d'une chose moins pesante à celle qui l'est davantage. »

Ainsi, pour Jean Rey, des quatre éléments, aucun n'est essentiellement léger, et, si l'air et le feu tendent à monter au-dessus de l'eau, c'est tout simplement que l'eau est plus qu'eux attirée vers le bas.

Il cherche dans les *Essays* suivants de nouvelles raisons à l'appui de son opinion, et confond dans son argumentation le feu et l'air : « Vray est que les expériences que nous produirons de cettuici conclurront pour celuy-là, en conséquence de la proximité de leur nature. »

Cette confusion est fâcheuse sans doute, mais elle n'aura pas dans la suite tous les inconvénients qu'on pourrait croire. Dans les *Essays* suivants, Jean Rey continue à défendre la pesanteur de l'air ; mais ses arguments sont faibles, et le père Marin Mersenne, son correspondant, peut facilement les réduire à néant. A l'*Essay* VIII, cependant, notre auteur se relève et explique avec la plus grande clarté comment il n'est pas possible, dans les circonstances ordinaires, de trouver de la pesanteur à l'air. *Essay* VIII : « Nul élément pèse dans soy-même, et pourquoy?... C'est d'ici d'où l'erreur que j'ay combattue (que l'air est sans pesanteur) tire un argument qui pourroit esblouir les yeux débiles, mais non les clairvoyans. Car, balançant l'air dans l'air mesme et ne lui trouvant pas de pesanteur, ils ont creu qu'il n'en avoit point. Mais qu'ils balancent l'eau (qu'ils croient pesante) dans l'eau même, ils

ne lui en trouveront non plus, estant très-véritable que nul élément pèse en soy-même. »

Et plus loin, dans l'*Essay* X, se trouve enfin la preuve expérimentale de la pesanteur de l'air :

« La seconde façon par laquelle l'air augmente de poids, c'est la compression de ses parties. Car la nature a voulu, pour des raisons à elle cogneues, que les éléments peussent s'estendre et resserrer jusqu'à certaines bornes qu'elle leur a prescrites. Dans cet espace, voit-on une portion d'élément ores serrée à l'estroit, ores estendüe au large... Prenez cette syringue, dans laquelle le bouchon est enfoncé jusqu'à demi, et l'ouverture de devant est bien fermée, poussez à force : vous réduirez l'air enclos au petit pied. Retirez à vous le bouchon ; vous ne le sortirez pas du tout ; bien ferez-vous estendre l'air à de plus amples dimensions qu'il n'avoit auparavant. L'air ainsi comprimé, doubtez-vous qu'il ne pèse dans un air libre, puisqu'en pareil espace il contient plus de matière ? Si la raison ci-dessus donnée ne vous suffit, venez-en à l'espreuve. Remplissez d'air à grande force un balon avec un soufflet, vous trouverez plus de poids à ce balon plein qu'à lui-même estant vuide. Et de combien ? De ce que pèse raisonnaiblement l'air contenu dans le balon qu'il n'y en a soubs pareille estendue en celuy qui est libre. Plusieurs ont bien remarqué ce plus de pesanteur au balon plein qu'au vuide ; mais que quelqu'un en aye sceu la cause jusques ici, il n'est point venu à ma notice. »

L'air est pesant, nous n'en doutons plus. Jean Rey accumule encore les raisonnements pour apporter une conviction complète dans l'esprit du lecteur ; mais aucuns ne valent ceux que nous venons de citer, aucuns n'ont ce caractère de précision expérimentale qui paraît plutôt appartenir à notre époque qu'au dix-septième siècle.

« Maintenant ai-je fait les préparatifs, voire jetté les fondements de ma responce à la demande du sieur Brun, qui est telle : Qu'ayant mis deux libres six onces d'estain fin d'Angleterre dans un vase de fer, et iceluy pressé sur un fourneau à grand feu ouvert, l'espace de six heures, l'agitant continuellement, sans y adiouster chose aucune, il en a recueilli deux livres treize onces de chaux blan-

che; ce qui l'a porté d'abord dans l'admiration et dans le désir de sçavoir d'où lui sont venues les sept onces de plus. Et pour grossir la difficulté, je dis qu'il ne faut pas s'enquérir seulement d'où lui lui sont venues ces sept onces, mais outre icelles, d'où ce qui a remplacé le déchet du poids, qui est arrivé nécessairement par l'ampliation du volume de l'estain se convertissant en chaux, et par la perte des vapeurs et exhalaisons qui se sont escartées. A cette demande donc, appuyé sur les fondements jà posez, je responds et soutiens glorieusement : Que ce surcroît de poids vient de l'air, qui dans le vase a esté espessi, appesanti et rendu aucunement adhésif par la véhémente et longuement continuée chaleur du fourneau; lequel air se mesle avecques la chaux (à ce aydant l'agitation fréquente) et s'attache à ses plus menues parties, non autrement que l'eau appesantit le sable que vous jettez et agitez dans icelle, par l'amortir et adhérer au moindre de ses grains. »

Telle est la grande découverte qu'a faite Jean Rey, et qui aurait pu avoir les plus heureuses conséquences, si elle eût été connue, discutée, et si, pour la vérifier, on eût entrepris une série de recherches dirigées dans ce but spécial.

Le chercheur de premier ordre possède seul cette merveilleuse sagacité qui le conduit d'abord à la solution. Tandis que les faibles se traînent péniblement en accumulant déductions sur raisonnements et que, timides, effarés, ils osent à peine hasarder quelques pas dans les nouvelles régions, le maître, au contraire, guidé par cet instinct, cette prescience qui est le propre du génie, s'avance sans hésiter, et de sa main puissante atteint d'abord la vérité, la saisit, sans qu'elle tente même de se dérober à ses étreintes.

Cette augmentation de poids des métaux chauffés à l'air avait été observée déjà depuis longtemps ; on avait du phénomène de singulières explications, que Jean Rey passe successivement en revue.

« Entre tous ceux que je sçay avoir escript quelque chose sur cette question, Cardan se présente le premier; lequel, au cinquiesme livre *de la Subtilité* [1], dit que le plomb se convertissant

[1] Nam plumbum cum in cerussam vertitur ac uritur, tertia decima parte sui ponderis augetur. Hoc sit, quia calor ille cœlestis evanescit : nam certum est adjici nihil et tamen crescit. Cum igitur ratio etiam in animalibus videa-

en céruse ou se calcinant augmente d'une treizième partie; puis en rend cette raison : c'est que le plomb meurt d'autant que la chaleur, qui étoit son âme, s'évanouit, la présence de laquelle lui donne vie et le rend léger, comme son abscence lui donne la mort et l'appesantit. Ce qu'il confirme par l'exemple des animaux, que la mort rend plus pesants par l'extinction de cette chaleur céleste, qui est l'âme (selon sa créance) tant des animaux que de tous les autres corps mixtes et composés. »

On voit à quelles singulières imaginations se laissaient aller les prédécesseurs de Jean Rey. Celui-ci, au reste, avec son fin bon sens, a bien vite pulvérisé cette métaphysique. « Comment le plomb conserverait-il cette vie soubs un million de formes qu'il peut prendre et quitter, demeurant toujours plomb? Comment, dans une fournaise (qui seroit bien plus grande merveille), où l'on peut le tenir fondu un jour, un mois, voire une année entière? Il faudroit une âme bien tenace pour tant souffrir sans desloger. »

L'*Essay* XIX a pour but de montrer que ce n'est pas la suie qui augmente le poids de la chaux de plomb.

« Je lis au dixième chapitre du sixième livre des *Secrets chimiques de Libavius*[1], que Césalpin a escript, que c'est une chose digne d'admiration que le plomb noir, se calcinant, accroisse en pesanteur de huit ou dix livres pour cent. Puis, recherchant la cause, il dit que c'est la suye que le feu produit, laquelle, heurtant la voûte du fourneau de réflexion, retombe sur la matière. Ce que Césalpin n'eût jamais advancé s'il eût prins garde à ce que je vas

tur, quia graviora morte fiunt, quoniam exhalante anima, secum calor etiam, at quicquid ab illo est elaboratum evanescit, manifestum est corpora metallica et lapides ipsos etiam vivere. (Cardani, *de Subtilitate*, lib. V.)

[1] Andreas Cesalpinus, *de Metallicis*, lib. III, c. vii, scribit admiratione dignum esse quod plumbum nigrum, ustum in fornace donec cinis fiat, pondere crescat octo aut decem pro singulis centenariis ; putat idem fieri quod lateribus in fornace coctis, qui et ipsi post assationem graviores redduntur, cum oppositum deberet fieri absumpta eorum substantia in igne. Vult autem in locum deperditæ accedere fuliginem ignis, quæ adherens lateribus in poris condensetur, quod magis fiat in plumbo, quia in furno reverberii flamma super cineres reflectatur, ibique reponat suam fuliginem : argumento, quod si iterum cinis in plumbum vertatur, moles diminuatur, reliquo abeunte in excrementa, unde concludit ustione minui plumbum, imbribus augescere.

déduire : Premièrement, que la suye, à mesure que le feu s'exhale, est de nature si rare, que les sept onces que le sieur Brun a trouvées de surcroît contiendroient plus d'espace que toute la chaux qu'il a tirée de sa calcination. En second lieu, que cette abondance de suye noirciroit tellement la chaux de l'estain et du plomb, que jamais les dames n'iroient empruntant d'icelle la blancheur de leur face, ainsi que plusieurs font. »

Jean Rey réfute encore successivement d'autres opinions : « Ce n'est pas du vase que vient l'augmentation de la chaux de l'estain et du plomb. En effet, le vase dans lequel a eu lieu la calcination étoit en fer ; la chaux de fer est jaune, et communiqueroit sa couleur à la chaux de plomb et d'estain, qui restent blanches cependant. »

Ce ne sont pas les vapeurs de charbon qui augmentent le poids : « Car si de telles vapeurs ne peuvent traverser un bocal de verre, un plat d'estain, un pot de terre, autrement nos eaux bouillies, nos sauces, nos potages en seroient infectés, comment traverseroient-elles un vaisseau de fer, dont la matière est plus forte ? Et puis, l'ayant pénétré, quelles entraves trouveront-elles dans la chaux pour y être arrêtées ? Pourquoi finiront-elles là leur course ? »

On admettra donc avec nous que Jean Rey a donné une solution très-complète, très-précise du phénomène sur lequel on avait appelé son attention ; mais ce phénomène est de la plus grande généralité, et, en poursuivant les études dans ce sens, on eût infailliblement fait faire à la chimie les plus brillants progrès.

Les alchimistes avaient calciné bien d'autres métaux que le plomb et l'étain, l'antimoine, le fer, le cuivre, le mercure, etc ; si une fois il était certain que leur transformation en chaux provenait de la fixation de l'air, quoi de plus naturel que de rechercher si on ne pouvait en extraire cet air ? On eût essayé, car les alchimistes étaient grands expérimentateurs ; ils n'auraient réussi ni avec le plomb, ni avec le fer, ni avec le cuivre, dont les oxydes sont irréductibles par la chaleur, mais ils auraient réussi avec le mercure, et l'oxygène était découvert. On dira que rien n'est plus facile que de supposer ; mais, en réalité, ici la marche est si évidente, les essais à faire sont tellement indiqués, qu'il est certain qu'on fût arrivé, si le livre de Jean Rey eût été connu.

Ainsi la solution donnée pour un cas spécial s'appliquait forcément à tous les analogues et se serait étendue très-probablement à

toutes les combustions dans lesquelles on aurait vu une fixation d'air, au lieu de s'embrouiller avec Stahl dans la confusion de la partie physique et chimique du phénomène, en ne faisant plus la distinction dans laquelle Jean Rey montre tant de sagacité.

Si les *Essays* ne renfermaient que la théorie de la calcination du plomb et de l'étain, ils suffiraient pour montrer dans Jean Rey un prodigieux sens chimique, c'est-à-dire le talent de distinguer la cause principale au milieu de la masse de détails qui viennent toujours assiéger l'expérimentateur et lui masquer les raisons déterminantes du phénomène étudié.

Mais nous trouvons encore dans son livre deux indications des plus remarquables, qui, développées, contenaient en germe deux des découvertes qui eurent le plus d'importance sur les progrès ultérieurs de la chimie.

L'*Essay* XXVI est intitulé: *Pourquoy la chaux n'augmente en poids à l'infini.*

« Ayant ainsi rembarré les opinions contraires, la mienne seule peut librement tenir la campagne. Vray est qu'appercevant quelques objections qui pourroient troubler ses pas, voici je vas au devant, afin de les escarter. La première sembleroit nous mener à l'absurdité que j'ai objectée à Césalpin, que mon opinion estant admise, la chaux dont je traite pourra augmenter à l'infini. Car pourquoy (dira-t-on) n'accroîtra indéfiniment la chaux, le feu pouvant estre infiniment continué, qui fournira toujours de cet air espez et pesant pour l'accroistre ? Je me desveloppe de cette difficulté, qui pourroit enlacer quelqu'un des moins subtils ; en remarquant que toute matière qui s'accroist par l'addition d'une autre est ou solide ou liquide ; et que le mélange se fait entre elles de trois façons. Car la matière solide se mesle avecques la solide, ou la liquide avecques la liquide, ou celle-ci avecques l'autre. Le meslange et accroissement qui se fait ès deux premières façons ne reçoit point de bornes. Meslez avec ce sable et y joignez toujours d'autre sable, vous l'irez sans fin augmentant. Meslez avec ce vin et y versez toujours d'autre vin, vous n'aurez jamais achevé. Il n'est pas de même de la tierce façon, quand on adjoute et mesle une matière liquide avec une solide. Cette addition meslangée ne croistra pas toujours, n'ira point à l'infini. La nature, par son incrustable sagesse, s'est ici mise des barres qu'elle ne franchit jamais. Meslez de l'eau avec

le sable ou la farine, ils s'en couvriront totalement jusqu'à la moindre de leurs parcelles ; versez-en davantage, ils n'en prendront plus: et, les retirant de l'eau, ils n'en porteront que ce qui leur adhère et qui suffit à les enceindre justement. Replongez-les cent et cent fois, ils n'en sortiront pas mieux chargez : et les laissant dedans à repos, ils quitteront le superflu et iront à fond par eux-mêmes, tant la nature est religieuse de s'arrêter aux limites qu'elle se prescrist une fois. Notre chaux est de cette condition : *l'air espessi s'attache à elle, et va adhérant peu à peu, jusqu'aux plus minces de ses parties: ainsi son poids augmente du commencement jusques à la fin. Mais, quand tout en est affublé, elle n'en sauroit prendre davantage. Ne continuez pas votre calcination soubs cet espoir ; vous perdriez votre peine.* »

Sans doute notre théorie des proportions définies est plus précise, mais le germe est là ; Jean Rey dit nettement que l'étain ne peut prendre indéfiniment de l'air atmosphérique pour se transformer en chaux ; non, il en prend une certaine quantité, un certain poids, au delà duquel l'air est sans action sur lui.

La découverte n'est pas faite, et, pour établir cette loi importante que les corps se combinent toujours suivant des proportions parfaitement fixes et définies, il faudra de nombreuses expériences longtemps continuées ; la démonstration, en effet, n'a été terminée qu'au commencement de ce siècle; néanmoins Jean Rey a planté là un premier jalon qui aurait pu guider puissamment les chercheurs, si son livre eût été plus connu.

Nous n'en avons pas fini encore avec les choses curieuses que renferment les *Essays*. Nous allons y rencontrer un passage plus intéressant que la théorie de la calcination du plomb et de l'étain, plus intéressant même que cet apperçu sur les combinaisons en proportions définies, dans l'*Essay* VI, dont nous n'avons pas encore parlé.

C'est une étrange page que cet *Essay*, et nous y voyons une des plus hautes vérités à laquelle la science soit arrivée démontrée d'une façon bizarre et toute scolastique.

Lisons d'abord :

Essay VI : « La pesanteur est si estroitement joincte à la pre-

mière matière des éléments, que, se changeant de l'un en l'autre, ils gardent toujours le même poids.

« Mon soin principal a esté jusqu'ici de graver au cœur de tous cette persuasion que l'air a de la pesanteur, d'autant que c'est luy dont je prétends tirer l'augmentation en poids de l'estain et du plomb qu'on calcine. Mais, avant monstrer comment cela se peut faire, il me faut desployer cette mienne remarque : c'est que l'examen du poids de quelque chose se fait en deux façons, sçavoir : ou à la raison, ou à la balance. C'est la raison qui m'a fait trouver du poids dans tous les éléments ; c'est elle-même qui me fait ores porter le démenti à cette maxime erronée qui a eu cours depuis la naissance de la philosophie : que les éléments allant mutuellement au change l'un de l'autre, ils perdent ou gaignent de la pesanteur à mesure qu'en ce changement ils se raréfient ou condensent. Avec les armes de cette raison, j'entre hardiment en la lice pour combattre cette erreur et soutiens que *la pesanteur est tellement joincte à la première matière des éléments, qu'elle n'en peut être déprinte. Le poids que chaque portion d'icelle print au berceau, elle le portera jusques à son cercueil. En quelque lieu, soubs quelle forme, à quel volume qu'elle soit réduitte toujours un même poids.* Mais ne présumant pas que mes dits aillent en pair de ceux de Pythagore, qu'il suffise de les avoir advancez, je les appuye d'une démonstration à laquelle les bons esprits, comme je pense, acquiesceront. Soit prinse une portion de terre, qui aye en soy la moindre pesanteur qui puisse estre, et au delà de laquelle n'en puisse subsister ; que cette terre soit convertie en eau par les moyens cogneus et pratiquez par la nature : il est évident que cette eau aura de la pesanteur, puisque toute eau en doibt avoir : or, sera-t-elle, ou plus grande que celle qui estoit en la terre, ou plus petite, ou esgalle? D'estre plus grande, ils ne le diront pas (car ils professent du contraire), et je ne le peux pas aussi : plus petite, elle ne peut, veu que j'ay prins la moindre qui puisse estre : il luy reste donc qu'elle luy soit esgalle, ce que je prétends prouver. Ce qui est montré de cette parcelle se montrera de deux, de trois, d'un bien grand nombre ; bref, de tout l'élément qui n'est composé d'autre chose. Et se rapportera le mesme à la conversion de l'eau en air, de l'air en feu : et au rebours de ces derniers aux autres. »

Faisons abstraction de la démonstration et de sa tournure sco-

lastique; l'idée principale est celle-ci : la pesanteur est un attribut essentiel de la matière, et, quelles que soient les transformations que vous fassiez subir à cette matière, elle conserve son poids primitif. Or toute la rigueur des expériences est basée, en chimie, sur ce principe : que rien dans la nature ne se crée ni se perd, qu'il est aussi impossible de faire de rien une molécule d'une matière quelconque que de la détruire, et c'est seulement par l'emploi continuel de la balance qu'on peut arriver à contrôler sans cesse cette vérité. Du jour où Lavoisier la mit hors de doute, du jour où les chimistes se sont astreints à tout peser, ils ont donné à la science la rigueur qui lui manquait jusqu'alors; elle est sortie des à-peu-près pour arriver aux démonstrations.

Or le passage de Jean Rey que nous venons de citer renfermait aussi en germe cette grande idée : la matière est indestructible, et sa démonstration à l'aide de la balance; dans quelque combinaison qu'on engage un corps, quelles que soient les transformations auxquelles on les soumette, il doit toujours garder le même poids. Nous n'en savons pas plus long aujourd'hui.

Ce ne sont que des germes que renferment les derniers *Essays* sur lesquels nous avons appelé l'attention du lecteur; mais, s'ils étaient tombés en bon terrain, ils auraient produit une luxuriante végétation. C'est souvent un mot échappé à un homme de génie qui fait surgir une brillante découverte. A un esprit ouvert une indication suffit parfois pour montrer la bonne route. L'anecdote de la pomme de Newton est peut-être apocryphe; elle cache, dans tous les cas, cette grande vérité, qu'il faut souvent aux méditations les plus profondes un hasard, un accident, pour qu'elles se précisent, pour qu'elles passent de l'idée au fait, de la rêverie à la démonstration. Jean Rey a dit que l'étain ne peut prendre indéfiniment de l'air atmosphérique pour se transformer en chaux; il a dit que les corps conservaient le même poids, quelles que fussent les métamorphoses auxquelles ils étaient soumis; cela exigeait une démonstration; on l'eût cherchée, et en chimie, quand on cherche courageusement, on trouve.

Ces résultats acquis, la chimie était faite.

Comment ne pas déplorer qu'un homme de cette valeur n'ait pas continué des études dans lesquelles, du premier coup, il annonçait un maître? L'humanité est ainsi frappée souvent dans ses plus hautes têtes par une mort impitoyable.

De quels chefs-d'œuvre ne nous a-t-elle pas privés en enlevant, au sortir de la jeunesse, Raphaël, Mozart, André Chénier et tant d'autres!

Ceux-là, au moins, ont laissé un grand nom, et leur œuvre, comprise, appréciée, a pu servir de modèle; il n'en a pas été de même pour Jean Rey. Après la publication de ses *Essays*, il reste muet, il fait imprimer ce petit livre à Bazas, puis il n'a plus l'air de s'en préoccuper, et il passe son temps à courir de l'huissier au procureur.

Que n'était-il à Paris ou à Montpellier, que n'avait-il une chaire d'où il pût enseigner, répéter ce qu'il avait trouvé? S'il est déjà grand, si son prodigieux sens chimique se révèle quand il est seul dans un petit coin de la France, entre un forgeron et un apothicaire, combien ne l'eût-il pas été davantage devant un amphithéâtre attentif, subissant ce magnétisme qui entraîne tous ceux qui professent quand ils sentent que le feu qu'ils ont allumé dans leur auditoire leur revient centuplé par les regards qui tombent sur eux!

Mais il est resté dans sa province, et c'est à peine si son livre fut lu. Deux ou trois érudits le citent dans le dix-huitième siècle, mais pas un ne le tire de l'oubli et de la poussière pour en faire le drapeau de la nouvelle chimie, et il fallut découvrir de nouveau tout ce qu'il avait découvert déjà.

Quand, en 1774, Lavoisier publie ses *Opuscules chimiques et physiques*, il ne cite nulle part le nom de Jean Rey, et il recommence sur la calcination du plomb et de l'étain les mêmes expériences qu'avait faites celui-ci; ce n'est que quelques années après que Bayen appelle l'attention des chimistes sur les *Essays* devenus presque introuvables.

Ils sont enfin réédités en 1777, lorsqu'ils n'ont plus qu'un intérêt historique. En finissant son livre, Jean Rey avait écrit : « Le travail a été mien, le profit en soit au lecteur et à Dieu seul la gloire. » C'était là son dernier souhait : il ne fut pas exaucé.

II

Nous n'allons pas rencontrer dans le médecin anglais Jean Mayow les mêmes qualités que dans Jean Rey; nous n'y trouvons plus cette finesse, cette sagacité qui du premier coup trouve la solution. Jean

Rey n'hésite pas : placé devant le problème, il découvre aussitôt la solution avec une sagacité merveilleuse, il raisonne plutôt qu'il n'expérimente, et il ne semble pas que par lui-même il ait souvent manié cornues et creusets.

Jean Mayow, au contraire, est un homme de laboratoire, et ce sont ses expériences qui vont nous étonner; tant qu'il faut observer, c'est un maître, il sait construire les appareils, mélanger les produits, faire naître les réactions; mais quand, fermant les yeux il faut passer des faits aux raisonnements et trouver l'explication de ce qu'il a vu, il est aussi faible qu'il était fort, aussi lourd et maladroit qu'il était tout à l'heure fin et habile.

Il est né en 1645 dans le comté de Cornouailles; il exerçait la médecine à Math, quand en 1674, à Oxford, il publia ce livre si curieux et si peu connu qu'il intitula *Tractatus quinque medico-physici*. Il n'avait donc alors que vingt-neuf ans.

Nous n'aurons plus, en lisant le livre de Jean Mayow, le plaisir littéraire allié à l'intérêt scientifique. Au lieu de cette belle langue si voisine de Pascal et de Descartes, qui rappelle encore Montaigne et même Rabelais, que parle Jean Rey, nous n'aurons plus qu'un mauvais latin tout surchargé de redites. Les faits découverts sont admirables; mais, quand on est séduit, charmé par cette habileté de manipulation, on est désenchanté par la lourdeur des raisonnements qui l'accompagnent. Nous nous permettrons donc de ne pas citer textuellement, le lecteur y gagnera.

C'est encore l'air, son rôle dans la combustion et dans la respiration qu'étudie Jean Mayow; il lui faut donc d'abord des appareils propres à examiner cet air, à le recueillir, à apprécier les changements de volume qui résulteront des diverses opérations auxquelles il sera soumis. Ces appareils sont remarquablement ingénieux; ils rappellent complétement non-seulement ceux qu'employa Hales cinquante ans plus tard et dont on lui a toujours attribué la découverte, mais même ceux dont firent usage Priestley et Lavoisier, qui en définitive diffèrent très-peu des nôtres.

On savait bien peu de chose alors sur les gaz ; quelques auteurs avaient observé avant Paracelse un dégagement de gaz pendant les combustions, les fermentations; ils s'étaient fait peu d'idées nettes sur leurs propriétés, et lui avaient donné le nom de *spiritus sylvestre*, esprit sauvage.

Paracelse pensa que cet air est le même que celui que nous res-

pirons; mais ce ne fut plus l'opinion de Van Helmont, qui le premier s'est proposé de faire des recherches suivies sur cette substance. Il lui donne le nom de *gaz* sylvestre [1]; il la définit un esprit, une vapeur incoërcible qui ne peut se rassembler dans des vases ni se réduire sous forme visible. Cette substance, d'après les expériences de Van Helmont, se dégage de toute matière en fermentation, elle prend naissance quand on enflamme la poudre à canon, quand on fait brûler du charbon; il la reconnaît encore dans les effervescences que produisent les acides agissant sur les chaux douces.

Van Helmont, on le voit, avait eu connaissance de plusieurs des propriétés les plus importantes du gaz acide carbonique, et il le distinguait de notre air atmosphérique; mais il n'avait aucune notion précise sur la constitution même du mélange gazeux que nous respirons.

C'est de notre air atmosphérique que Jean Mayow s'occupe surtout, et c'est dans ces recherches qu'il arrive aux résultats les plus surprenants.

Des cinq traités de Jean Mayow, le plus important est le premier, intitulé : *De sale nitro et spiritu nitro æreo*. L'auteur montre que le nitre, le salpêtre, est d'une nature complexe et qu'il renferme un acide et un alcali, mais aucune matière combustible; il appuie cette opinion en décomposant d'abord le nitre par la chaleur, de façon à avoir l'alcali, puis d'autre part en ajoutant du soufre au nitre et en distillant. On comprend très-bien que, dans cette seconde opération, le soufre, oxydé par l'oxygène provenant de la décomposition du nitre, donne de l'acide sulfurique, lequel réagit sur le nitre non encore altéré, et en dégage de l'acide nitrique. En mettant cet acide nitrique avec l'alcali obtenu précédemment, Jean Mayow peut refaire du nitre.

Ce mode d'expérimentation est des plus remarquables : c'est la synthèse succédant à l'analyse, et c'est encore ainsi qu'on procède aujourd'hui dans les recherches bien conduites, et qu'on procédera toujours; on détruit d'abord, on reconstruit ensuite. Les deux opérations se contrôlent et amènent la certitude.

Continuant ses études sur le nitre, Jean Mayow ajoute : « L'air contribue à la formation du nitre, qui provient non tout entier, mais en partie de l'air, et il renferme aussi une partie de terre. »

[1] Gas, du mot hollandais *Ghoast*, esprit.

Le chapitre traite de la partie aérienne et ignée du nitre, et l'auteur y développe sur la combustion les idées les plus remarquables.

« L'air est tout à fait nécessaire à l'entretien de la flamme; *toutefois, ce n'est pas l'air tout entier qui entretient la flamme : c'est sa partie la plus active et la plus subtile;* car, lorsqu'une flamme produite dans un espace fermé s'éteint, il reste encore beaucoup d'air qui n'a pas été plus détruit par la combustion qu'il ne s'est échappé au dehors. »

Ainsi pour Jean Mayow l'air renferme un certain gaz particulier, l'air du feu, très-propre à entretenir la flamme, et une autre masse gazeuse qui n'a pas les mêmes propriétés.

C'est la première fois qu'on fait cette distinction, si contraire à tout ce qu'on enseignait alors; l'air n'est plus un élément; le chimiste anglais y reconnaît nettement deux substances distinctes : l'une qui entretient la flamme et l'autre qui ne possède pas cette propriété. Cette distinction ne fut refaite qu'en 1774 par Priestley; pendant un siècle elle reste oubliée.

Revenant au nitre, Jean Mayow y montre la présence de ce même air du feu existant dans l'air.

« Il existe dans le nitre des molécules de cet air du feu.

« En effet, le nitre mélangé au soufre peut brûler dans un espace vide d'air; on peut le prouver par l'expérience suivante : on tasse de la poudre à canon légèrement humectée dans un canon de fusil fermé à l'une de ses extrémités; on enflamme la poudre à l'extrémité ouverte, et pour empêcher le contact de l'air, on plonge cette extrémité dans l'eau. La poudre brûle entièrement, et il faut en conclure que le nitre renferme les portions d'air du feu nécessaires à l'entretien de la flamme, puisqu'on n'a besoin d'y rien ajouter pour le faire brûler.

« Pour qu'il y ait flamme, la présence de molécules combustibles et de molécules d'air du feu est nécessaire.

« La flamme du nitre diffère de toutes les autres, car les matières combustibles ont besoin, pour brûler, d'emprunter de l'air du feu à l'air ordinaire, tandis qu'au contraire le nitre renferme en lui-même cet air du feu dont le dégagement, extrêmement rapide, donne une flamme très-intense.

« De tout ce que j'ai dit, il me paraît démontré que le nitre renferme les portions d'air du feu nécessaires à l'entretien de la flamme. C'est pourquoi, quand il se forme du nitre dans de l'air qui contient des particules d'air du feu, on doit dire que la partie aérienne du nitre n'est autre que ces particules d'air du feu. »

L'auteur décrit ensuite la décomposition du nitre par la chaleur; il reçoit dans un récipient les vapeurs rouges qui se dégagent et il ajoute : « *Pour moi, je ne sais s'il existe dans la nature quelque chose de plus propre à exciter la combustion que cet esprit rouge du nitre qui lorsqu'on le distille passe dans le récipient.* »

Nous savons que par la calcination du nitre il se dégage de l'oxygène; il n'est donc pas douteux que dans l'expérience précédente Jean Mayow n'ait obtenu ce gaz; mais il ne sait pas le distinguer des vapeurs intenses avec lesquelles il est mélangé; pour lui l'air du feu est rouge, et il trouve une coïncidence remarquable entre la couleur de ce gaz et celle de la flamme.

Voilà un premier point établi; Jean Mayow a obtenu du nitre notre gaz oxygène impur, et le définit, comme nous le faisons aujourd'hui, un gaz éminemment propre à entretenir la combustion.

A-t-il eu connaissance de quelques-unes des autres propriétés de ce gaz?

Oui, certes. Comme nous l'avons vu, il remarque très-bien que l'esprit acide du nitre renferme de l'air du feu; il devine que l'huile de vitriol en renferme également, et il ajoute même que c'est à la présence de cet air du feu que ces corps doivent leurs propriétés acides, de telle sorte qu'il pourrait donner au gaz comburant de notre atmosphère le nom d'oxygène [1], par lequel nous le désignons aujourd'hui.

Comme Jean Rey, Jean Mayow étudie la calcination des métaux; mais, s'il ne démontre pas, à l'aide de la balance, leur augmentation de poids, il attribue leur transformation en chaux, non pas à l'air tout entier, mais à l'air du feu qui se dégage du nitre; car, en calcinant les métaux avec du nitre, on obtient des chaux semblables à celles qu'on prépare en faisant la calcination à l'air.

[1] Ὀξύς, aigre, acide; γεννάω, engendre.

Si nous passons au traité de la respiration, nous trouverons encore des expériences très-remarquables, des faits admirablement observés, expliqués toutefois de la façon la plus bizarre. Tant qu'il reste au laboratoire Jean Mayow paraît être de notre temps; mais, s'il rentre dans son cabinet, il y retrouve tout l'arsenal de la scolastique, et ne sait plus se défendre.

Le chimiste anglais, nous l'avons dit, avait construit avec beaucoup d'art des appareils propres à recueillir les gaz, à montrer quels changements de volume ils pouvaient subir quand ils étaient soumis à certaines opérations; nous allons voir figurer cet appareil dans ses belles expériences sur la respiration.

Notre auteur fait voir d'abord que, lorsqu'il y a combustion, les parties nitro-aériennes nécessaires pour exciter le feu sont absorbées, et que l'air diminue de volume en perdant de sa force élastique; c'est ainsi que dans une ventouse, quand la flamme s'éteint, il se fait un vide, et la peau devient saillante à l'intérieur du vase de verre.

Les mêmes faits se passent-ils dans la respiration? Pour le savoir, Jean Mayow dispose dans une cloche de verre une cage pour recevoir un animal; la cloche est placée sur l'eau et on aspire avec un tube courbé une certaine quantité d'air pour élever le niveau de l'eau et le pouvoir noter exactement.

« L'eau s'élève bientôt. Je me suis assuré par diverses expériences faites avec différents animaux que l'air perd un quatorzième de son volume par la respiration.

« Les animaux absorbent donc en respirant certaines particules vitales et élastiques de l'air.

« Il n'est pas douteux qu'il entre dans le sang par la respiration quelque chose d'aérien nécessaire à la vie. Ce n'est pas au seul broiement du sang que les poumons sont destinés... Que ce soient des trachées capillaires ou l'extrémité des vaisseaux sanguins qui absorbent ce principe aérien, c'est ce qu'il n'est pas possible d'assurer; mais l'air n'en est pas moins privé de son élasticité par la respiration comme par la combustion, et il est à croire que les *animaux enlèvent à l'air des particules du même genre que celles que lui enlève le feu : c'est ce que démontre l'expérience suivante :*

« L'on place sous une cloche un animal et une lampe; par suite

de l'absorption de l'air du feu, la lampe ne tarde pas à s'éteindre et peu de temps après l'animal périt. »

Découvrir un corps, n'est-ce pas le caractériser par quelques-unes de ses propriétés les plus remarquables, tellement qu'il ne soit plus permis de le confondre avec aucun autre?

Or Jean Mayow dit :

Il existe dans l'air un gaz qui est spécialement chargé d'entretenir la combustion.

Ce gaz existe dans le nitre.

On peut l'obtenir avec une couleur rouge en distillant celui-ci.

C'est ce gaz qui se fixe sur les métaux quand on les calcine.

Il donne aux acides du nitre et du vitriol leurs propriétés caustiques.

Il entretient la respiration des animaux.

N'est-ce pas suffisant? L'oxygène est incolore, il est vrai; mais tous les autres faits qu'indique Jean Mayow sont parfaitement exacts. On est donc forcé d'admettre que, si le chimiste anglais n'a pas obtenu l'oxygène à l'état de pureté, il a eu une connaissance très-complète et très-approfondie de ses principales propriétés chimiques, et que c'est lui en définitive qui l'a découvert.

Là s'arrête sa gloire. S'il avait senti l'importance des faits que d'heureuses expériences avaient mis sous sa main; si, au lieu de rester embarrassé dans des raisonnements pénibles et incohérents, il avait généralisé, étudié ses premiers résultats, il eût pu peut-être jouer le rôle immense qui cent ans plus tard fut dévolu à notre grand Lavoisier.

La mort l'arrêta. Son livre parut en 1674; cinq ans plus tard, il meurt, à peine âgé de trente-quatre ans; au moment où l'homme entre dans la plénitude de sa force intellectuelle, il disparaît dans la tombe, emportant son œuvre avec lui.

Comme Jean Rey, il a été nul par l'influence. C'est que, pour faire prendre à une vérité sa place au soleil, il ne suffit pas de la mettre au jour; il faut encore, à bien des reprises différentes, montrer son importance, répéter les démonstrations, forcer les indifférents et les distraits à voir la nouvelle venue, la remettre sous leurs yeux, la défendre contre les attaques que suscite sa naissance.

Une nouvelle vérité a toujours, en effet, un trop vif éclat, elle aveugle d'abord, et on s'efforce de ne pas la voir; elle réveille les indolents au milieu du doux sommeil dans lequel ils se sont endormis avec la science antérieure; c'est au savant et à l'inventeur de forcer les regards à se fixer sur elle, et à enlever les unes après les autres toutes ces mains placées devant les yeux.

C'est à ce rude labeur qu'il faut dépenser le plus de force et d'énergie; c'est là qu'il faut savoir dévorer tous les déboires, affronter tous les refus, et les sourires, et les ironies, c'est alors qu'en rentrant le soir au logis solitaire, harassé de courses et de démarches inutiles, il faut renfoncer les larmes prêtes à jaillir, pour ne pas trouver le découragement assis près du foyer éteint.

C'est une loi humaine, et tous la subissent; la vérité est assez belle, au reste, pour que quelques obstacles n'effrayent pas ceux qui veulent la faire triompher; s'il ne fallait que chercher et trouver, en vérité la carrière du savant ne serait pas mêlée de cette dose de fiel qui revient à chaque créature humaine.

Tant que la science, déviée de sa route, conduite au hasard par Stahl et ses disciples, a erré dans le vague et l'incertitude, personne ne s'est souvenu de Jean Mayow, et son nom n'est pas prononcé.

Mais que la lumière se fasse, que Priesley découvre l'oxygène, que Lavoisier commence sa grande révolution, aussitôt on retrouve derrière les rayons poudreux des bibliothèques les œuvres précédentes, complétement oubliées quand elles pouvaient être utiles; c'est qu'alors il ne s'agit plus seulement de faire rendre justice à un illustre mort, il s'agit aussi de rabaisser un vivant: l'envie est bonne chercheuse.

Les réclamations s'accumulent alors. En 1790, le docteur Beddoes publie dans ses *Opinions et Expériences chimiques* le résumé des travaux de Jean Mayow, et Scherer, un Allemand enthousiaste, s'efforce de prouver, trois ans plus tard, que Jean Mayow a posé depuis cent ans les bases de la chimie antiphlogistique et physiologique.

C'est ainsi que les deux grands chimistes du dix-septième siècle n'ont eu aucune influence sur les progrès de la science. Le moment, au reste, n'était peut-être pas venu. Pour que la chimie fût fondée sur sa base inattaquable : *Rien ne se crée, rien ne se détruit*, il fallait faire nettement, complétement, la distinction entre les gaz

et les fluides impondérables ; il fallait comprendre que l'air est pesant et que le feu ne l'est pas ; c'était là une distinction délicate, qui exigeait un esprit éminemment lucide, clair, précis, un génie français en un mot ; il ne se rencontra pas.

C'est la théorie brumeuse de l'Allemand Stahl qui triompha et qui, pendant cent ans, introduisit dans la science des principes erronés que les travaux de Jean Rey et de Jean Mayow eussent permis d'écarter, s'ils n'étaient pas restés inconnus.

P. P. Dehérain.

QUATRIÈME PARTIE

ECONOMIE POLITIQUE ET SOCIALE

I

POPULATION.

L'annexion de la Savoie et de Nice a porté la superficie de la France, de 53,027,891 hect., à 54,239,679 hect., ou 542,397 kilom. carrés. L'étendue des trois nouveaux départements est, en effet, comme suit: Alpes-Maritimes, 393,000 hect.; Savoie, 591,358 hect. ; Haute-Savoie, 341,715 hect. En ajoutant la population des trois nouvaux départements, qui est: de 189,031 habitants pour les Alpes-Maritimes , de 310,000 pour la Savoie, et de 286,000 pour la Haute-Savoie, à la population française de 1856, époque du dernier recensement, on arrive à un total de 36,757,976. Un nouveau recensement — on sait que la population française est recensée tous les cinq ans — a été fait dans le courant de l'été de 1861 ; au moment où nous écrivons, plusieurs départements sont encore en retard pour l'envoi à l'autorité centrale des résultats définitifs du dénombrement; le résultat général ne sera connu que dans les derniers jours de décembre au plus tôt. A en juger d'après les résultats déjà obtenus de la majeure partie des départements, les bureaux, au ministère de l'intérieur, croient pouvoir compter sur un accroissement quinquennal d'environ

600,000 âmes; de 1851 à 1856, l'accroissement avait été de 256,194 âmes, le plus faible, il est vrai, qu'on ait jamais constaté entre deux dénombrements. Le nouvel accroissement quinquennal donnerait donc à la France, pour la fin de 1861, un chiffre rond de 37 millions 300,000 habitants. Ce faible accroissement de la population absolue laissera naturellement sans modification bien sensible les chiffres de la population relative. Cette dernière avait été, d'après le recensement de 1856, de 68 habitants par kilomètre carré; le département de la Seine, que l'agglomération parisienne place tout à fait hors ligne, en avait compté 3,633 habitants sur la même étendue; la plus forte densité de la population se trouvait ensuite dans les départements que voici : Rhône (224 habitants par kilomètre carré); Nord (213 hab.); Seine-Inférieure (128 hab.); Bas-Rhin (124 hab.); Haut-Rhin (121 hab.), Pas-de-Calais (108 hab.); Loire (106 hab.); Manche (100 hab.); dans tous les autres départements, la population restait au-dessous de 100 habitants par kilomètre carré : elle était la plus faible (22 et 23 hab. par kilom. carré) dans les départements des Basses et Hautes-Alpes.

La population recensée en 1856 composait 8,796,336 ménages se divisant comme suit :

914,788	ménages	(10.40 %)	comptant	1	personne.
1,628,037	—	(18.51 %)	—	2	personnes.
1,753,806	—	(19.94 %)	—	3	—
1,600,211	—	(18.19 %)	—	4	—
1,166,205	—	(13.26 %)	—	5	—
786,790	—	(08.94 %)	—	6	—
946,499	—	(10 76 %)	—	7	personnes et au-delà.

Quant au sexe, la population se divisait en 17,857,439 hommes et 18,155,230 femmes. Elle occupait 7,698,815 maisons d'habitation et était dispersée en 36,826 communes (villes et villages) dont : 69 comptant au delà de 20,000 âmes; 113 ayant de 10,000 à 20,000 habitants; 276 qui en possèdent de 5,000 à 10,000; enfin 36,368 communes dont le chiffre d'habitants restait au-dessous de 5,000. Avec les trois départements annexés, le chiffre des communes doit aujourd'hui largement dépasser les 37,000. Le nombre des départements a été porté par l'annexion à 89, celui des arrondissements à 373, et le nombre des cantons à 2,915.

Les derniers renseignements sur le mouvement de la population

s'arrêtent à l'année 1859 [1]. Dans cette année, la population s'est accrue de 39,231 âmes par l'excédant des naissances sur les décès. Le nombre des naissances a été de 1,011,787; il a été ainsi supérieur de 32,000 environ au chiffre de 1851 qui, dans l'intervalle de ces huit ans, n'avait été ni dépassé ni même atteint. Dans le département de la Seine, le nombre des naissances s'est élevé à 60,186, contre 57,793 en 1858. Le nombre des décès, abstraction faite des mort-nés, s'est élevé, en 1859, pour toute la France, à 972,556, chiffre de beaucoup supérieur à celui des quatre années précédentes (1855 à 1858), mais sensiblement inférieur au chiffre de l'année 1854 qui avait été affligé de 992,779 décès. Dans le département de la Seine, on a constaté 50,268 décès, contre 47,879 en 1858.

Nous avons dit déjà que l'excédant des naissances sur les décès a été de 39,231 : c'est le chiffre le plus bas qu'on ait eu à enregistrer depuis 1850, à l'exception des années 1854 et 1855 dont le bilan démographique s'était clos en déficit, c'est-à-dire avec un excédant de décès sur les naissances. Toutefois, si le total des naissances excède, en 1859, le chiffre des décès, ce n'est que dans quatorze départements ; dans le reste de la France, on a compté plus de morts que de nouveau-nés.

Le nombre des mariages contractés en 1859 s'est élevé à 298,309; c'est une diminution d'environ 8,700 sur l'année précédente. La diminution doit être attribuée en grande partie au départ des conscrits pour la campagne d'Italie ; une diminution analogue s'était produite lors de la guerre de Crimée. Les documents inédits que nous avons sous les yeux ne nous renseignent pas encore sur la division des naissances en légitimes et illégitimes ; il n'est pas à supposer, malheureusement, que la proportion de ces dernières ait diminué. En 1858, le chiffre des naissances illégitimes qui, pendant une longue série d'années, avait oscillé entre 69,000 et 70,000, est monté d'un coup à 74,633. Il mérite d'être constaté que si, en termes généraux, le nombre des naissances illégitimes a peu varié avant 1858, il n'a été stationnaire, c'est-à-dire variant seulement de 5 ou 6 pour 100 d'une année à l'autre, que dans onze départe-

[1] L'*Annuaire du bureau des longitudes*, qui vient de paraître pour 1862, ne donne le mouvement de la population que jusqu'en 1858 ; nous devons les renseignements *inédits* sur 1859 qui suivent à l'obligeante communication de M. Alf. Legoyt, directeur de la statistique générale de France.

ments, tandis qu'il a sensiblement diminué, entre les années 1845 et 1858, dans 39 départements et augmenté dans 35 départements. La grande moyenne est un peu au delà de 8 enfants illégitimes sur 100 nouveau-nés. Le département de la Seine, où 27 pour 100 des nouveau-nés sont illégitimes, occupe une place hors ligne.

Le tableau que voici permet de suivre les principaux éléments du mouvement de la population pour une période de quinze ans :

ANNÉES.	TOTAL DES NAISSANCES.	DONT ENFANTS NATURELS.	DÉCÈS.	EXCÉDANT DES NAISSANCES SUR LES DÉCÈS.	MARIAGES.
1845	992,033	69,230	754,701	237,332	284,026
1846	983,473	69,633	831,478	151,995	270,633
1847	918,581	65,626	856,026	6,255	249'797
1848	948,748	67,791	844,158	104,590	292,977
1849	995,466	70,043	982,008	13,458	278,644
1850	961,337	69,970	774,410	186,927	297,383
1851	969,518	69,604	837,073	132,445	286,984
1852	965,080	69,844	811,695	153,385	281,360
1853	936,967	68,332	795,606	141,361	280,609
1854	923,461	70,097	992,779	déf. 69,318	270,906
1855	899,559	64,211	936,833	déf. 37,274	283,846
1856	952,116	68,288	835,017	117,099	284,335
1857	940,709	70,890	858,785	81,924	295,510
1858	969,343	74,633	874,023	95,320	307,056
1859	1,011,787	»	972,556	39,231	298,309

L'excédant des naissances sur les décès que la quatrième colonne de notre tableau fait ressortir pour les années 1857 à 1859, dépasse les 200,000; l'excédant a dû être bien plus fort dans les années 1860 et 1861, pour fournir le chiffre de 600,000 habitants, donné ci-dessus comme la différence probable entre les résultats des dénombrements de 1856 et de 1861. Les résultats de ce dernier dénombrement devant être publiés, du moins dans leurs traits généraux, pendant le cours de l'année prochaine, nous croyons devoir borner à ce qui précède nos observations démographiques, et nous réserver de traiter ce sujet avec plus de développe-

ments, sur la base des données nouvelles, dans le volume prochain de l'*Annuaire*. Nous ajouterons seulement aux données ci-dessus concernant le mouvement de la population, que la France a vu émigrer, en 1859 : pour l'Algérie, 2,378 ; pour l'étranger, 6,786; ensemble, 9,164 de ses habitants. Les femmes entrent pour 31 pour 100 dans l'émigration algérienne, et pour 44 pour 100 dans l'émigration étrangère. Les plus forts chiffres d'émigrés ont été fournis par les dix départements que voici, d'après l'importance du contingent : Basses-Pyrénées ; Bouches-du-Rhône ; Seine ; Haut-Rhin ; Hautes-Pyrénées ; Gironde; Bas-Rhin; Pyrénées-Orientales ; Haute-Garonne ; Seine-Inférieure. Le total des émigrés de 1859 a été fort inférieur à celui des trois années précédentes: 13,313 en 1858 ; 18,809 en 1857 ; 17,997 en 1856.

II

AGRICULTURE.

La récolte des céréales de 1861, qui nécessitera peut-être l'importation de 12 à 15 millions d'hectolitres de blés étrangers, s'annonçait à la fin du mois de mai sous des apparences si favorables, qu'en dépit des orages continuels des derniers jours de juin et des premiers jours de juillet, on s'est mépris jusqu'au dernier moment sur son importance réelle. Les bonnes conditions dans lesquelles l'épiage et la floraison s'étaient terminés avaient fait baisser les prix sur tous les marchés. On comptait sur ce qu'on appelle une bonne année moyenne. Dans le milieu de juillet, la continuation du mauvais temps au Nord et de la sécheresse au Midi, ralentirent le mouvement de baisse. Ce ne fut guère que dans le cours du mois suivant qu'on commença à savoir à quoi s'en tenir. Dans le Midi, où les récoltes se terminent beaucoup plus tôt que dans le reste de la France, on constata que le rendement des gerbes, quoique d'une bonne qualité, était, sous le rapport de la quantité, fort inférieur à celui d'une année moyenne. Les départements de Tarn, de l'Isère, du Var et de Vaucluse furent un peu plus maltraités que les autres ; dans l'Isère, au défaut de la quantité, se joignit l'infériorité de la qualité. Sur quelques points de la Beauce, les blés étaient atteints de la rouille. Dans le Nord et dans le Centre, où les opéra-

tions de battage n'étaient pas commencées, on ne prévoyait pas des résultats plus favorables.

En présence de cette situation, une assez forte hausse se déclara sur tous les marchés français. A l'étranger, les prix, qui depuis deux mois avaient constamment fléchi, s'affermirent tout à coup. Dans le premier moment, l'émotion causée par ce revirement fut assez grande en France ; le public, s'exagérant le déficit, le portait à 20 millions d'hectolitres et prévoyait déjà dans l'hiver de 1862 des calamités analogues à celles qu'avait apportées l'hiver de 1847. Ces craintes eurent un bon résultat : le commerce d'importation, stimulé par la facilité et la sûreté que lui donnait la récente abolition de l'échelle mobile, s'empressa de faire des achats considérables de blé en Amérique, en Russie et dans les autres pays producteurs ; il tirait, en outre, de fortes quantités de l'Angleterre, qui, alléchée par les hauts prix que les céréales obtenaient sur nos marchés, n'hésita pas à nous vendre sur ses blés indigènes et importés, ce dont elle n'avait pas immédiatement besoin. Grâce à cette activité vigoureuse, le commerce, dans les 4 premiers mois (incomplets) de la campagne agricole (1er août jusqu'au 21 novembre), a fait entrer en France, compensation faite de ses quantités exportées, 7,123,300 quintaux métriques de blés, chiffre fort supérieur à ceux obtenus dans de précédentes années de cherté pendant les quatre premiers mois de la campagne agricole ; ainsi les importations de blés du 1er août jusqu'au 30 novembre n'avaient été que de 3,118,000 quintaux métriques en 1846; de 2,817,874 quint. métriques en 1853; de 4,677,879 quint. métriques en 1854, de 2,678,286 quint. métriques en 1855 : de 6,519,491 quint. métriques en 1856, et de 4,112,424 quint. métriques en 1857.

La moitié environ du déficit pour lequel la France devra recourir aux blés étrangers se trouva donc couverte dès le commencement de novembre ; de forts arrivages étaient, en outre, attendus, notamment de la Hongrie et des Principautés danubiennes. Les prix ne tardèrent pas à se ressentir des effets de cette importation ; ils se mirent de nouveau à fléchir. Voici, en effet, quels ont été, sous ces influences diverses, les prix de l'hectolitre de froment avant la panique, durant la panique, et après qu'elle eut commencé à se calmer quelque peu :

	1er AU 15 JUILLET.	1er AU 15 OCTOBRE.	AU 20 NOVEMB.
Blé de choix. .	27f 35c à 27f 70c	33f 35c à 34f »c	30f 66c
1re qualité. . .	26 55 26 70	33 » 33 35	30 33
2e id. . . .	25 70 25 »	32 » 32 70	30 »
3e id. . . .	25 » 25 35	30 65 31 65	29 66

La baisse aurait probablement été plus accentuée encore, si les blés de Hongrie et d'Amérique ne s'étaient pas montrés de qualité inférieure. Aussi, tandis que l'arrivée de ces blés faisait baisser les prix du blé indigène, qualité secondaire, les blés de choix et les froments de première qualité montraient plus de résistance. Le résultat général n'en était pas moins un fort recul de la hausse, qui mettait les prix moyens de novembre 1861 considérablement au-dessous des prix moyens atteints à la même époque critique dans les précédentes années de cherté. On en trouvera la preuve dans le tableau comparatif que voici des prix moyens de novembre par hectolitre :

ANNÉES.	FROMENT.	SEIGLE.	ORGE.	AVOINE.
1853	34f 67c	23f 50c	18f 50c	10f 25c
1854	26 63	18 17	14 17	9 58
1855	38 36	25 50	18 47	10 »
1856	28 66	19 40	14 44	8 45
1861	27 »	14 60	14 »	10 30

Quoique la dernière décade de novembre ait été marquée par une certaine reprise, à laquelle des complications anglo-américaines nées de l'affaire du *Trent*, menacent de donner une intensité plus forte qu'on n'aurait prévu il y a peu de jours, il n'est point à redouter que l'hiver 1862 nous rapporte les forts prix de 1854 ou de 1856 : le froment avait alors varié entre 30 et 35 fr. l'hectolitre, et respectivement entre 35 et 36 fr.

Assurément, la liberté rendue dans la dernière session législative au commerce des blés, par l'abolition de l'échelle mobile, ne pouvait pas faire sentir ses salutaires effets d'une façon plus prompte et plus décisive ; le théoricien égoïste remercierait presque la disette de 1861 d'avoir fourni cette occasion. Le bon sens pratique des Anglais avait, depuis seize ans, fait justice de ce système encore plus compliqué qu'il n'est ingénieux, plus inefficace qu'il n'était compliqué. Les autres pays éclairés de l'Europe étaient venus successivement imiter l'exemple donné par l'Angleterre ; l'Espagne elle-même, dont le nom, il y a quelques années, semblait un des synonymes de routine et d'étroitesse de vues, entra dans cette voie. Deux États s'obstinaient à conserver le mécanisme suranné de l'échelle mobile : la France et Rome ; l'année 1861 a enfin vu sa disparition définitive chez nous. Personne ne la regrettera. Jamais conception économique n'a répondu moins au but que s'étaient proposé ses auteurs. On prétendait empêcher l'avilissement des prix du blé dans les années d'abondance et faire obstacle à leur trop grande élévation dans les temps de cherté ; on voulait, en d'autres termes, maintenir le prix à un certain taux sinon fixe, du moins peu variable, de façon à concilier les intérêts souvent opposés des producteurs et des consommateurs. Ce prix moyen, qu'on regardait comme suffisamment rémunérateur pour l'agriculture et pas trop onéreux pour le consommateur, devait être de 20 fr. environ. Or, pendant quarante ans que l'échelle mobile avait fonctionné de droit en France, six années avaient donné des prix au-dessus de 24 fr. ; dix années avaient vu les blés se vendre entre 20 et 24 fr., tandis qu'en vingt-quatre ans, il a dû se vendre au-dessous de 20 fr. : loin de maintenir une certaine stabilité dans les prix, l'échelle mobile ne les avait pas empêchés de descendre à 14-15 fr. et de monter à 35-40 fr. Au surplus, l'échelle mobile, d'invention anglaise, partageait chez nous le singulier sort qu'a en Angleterre le fameux statut de 1844, à l'aide duquel sir Robert Peel avait tenté de garrotter — en langage officiel, cela s'appelle réglementer — la banque d'Angleterre : dans les années normales, on ne s'en ressent ni en bien ni en mal, et, quand arrive une époque exceptionnelle, pour laquelle précisément ces merveilleux mécanismes, d'une absurdité sublime, ont été inventés, leurs auteurs et prôneurs même se voient obligés d'en suspendre le fonctionnement. Autant valait s'en débarrasser une bonne fois pour toutes. C'est ce

qu'a fait la France en rendant la liberté aux entrées et sorties du blé : elles ne sont désormais grevées que d'un simple droit de balance ou de constatation statistique; la liberté sera entière le jour où l'on fera disparaître le droit différentiel qui pèse encore sur les blés arrivant sous pavillon étranger.

Les autres grains, bien que moins atteints que le froment, ont donné, en 1861, une récolte assez inférieure à celle de l'année précédente. Les prix cependant ne sont pas fortement élevés, ainsi qu'on a pu le voir dans le tableau donné plus haut. Quant aux vins, sauf dans le Languedoc et la Provence, la récolte a été très-médiocre en quantité. L'ensemble de la récolte peut être évalué à la moitié d'une année ordinaire. Dans la Gironde, il faut l'évaluer tout au plus à un tiers. Sur quelques points du Midi, par suite de la gelée, beaucoup de propriétaires n'ont point vendangé du tout, ce qui est un fait sans précédent. La qualité du vin en compense heureusement la quantité. Presque partout, le prix des vins nouveaux dépasse du double le prix de ceux de 1860; les crus supérieurs se vendent déjà dans les mêmes conditions que ceux de 1858. Les prix de l'alcool comparés à ceux de l'année dernière, présentent aussi une diminution de 10 fr. sur les 3/6 de 90 degrés, et de 30 fr. sur les Montpellier. Les fourrages, sauf la paille de trèfle dont les prix ont baissé de 8 à 10 fr., ne présentent soit en baisse, soit en hausse, que des variations insignifiantes. Les engrais se maintiennent également dans les prix qu'ils avaient l'année dernière, sauf le sulfate d'ammoniaque qui a baissé de 88 fr. à 75 fr., et le nitrate de soude qui, de 13 fr. 50 c. s'est élevé à 38 fr. Les graines oléagineuses présentent également peu de changements. Les houblons, suivant leurs diverses qualités, se traitent à moitié du prix de l'année dernière.

L'institution de *Concours régionaux*, qui produit de bons effets par l'émulation qu'elle éveille, continue à se développer d'une façon satisfaisante. Voici quels ont été, en 1861, les envois exposés aux douze concours régionaux :

LIEUX DES CONCOURS.	ESPÈCES			ANIMAUX DE BASSE-COUR.	INSTRUMENTS.	PRODUITS.
	BOVINE.	OVINE.	PORCINE.			
Lyon.	592	125	61	214	152	92
Digne.	100	71	22	40	33	25
Angoulême. . .	435	158	93	143	137	111
Quimper. . . .	348	93	46	74	44	46
Orléans.	267	441	52	70	125	132
Marseille. . . .	139	384	46	140	116	95
Rhodez.	345	385	60	74	70	77
Toulouse. . . .	591	422	90	97	96	73
Rouen.	243	300	47	10	109	40
Beauvais. . . .	307	347	83	249	150	52
Metz.	382	246	31	56	97	78
Châlons.	295	383	51	85	175	73
Totaux. . .	4,044	3,355	682	1,252	1,304	894

On a décerné 2,514 prix dont : 1,274 à la race bovine ; 403 à la race ovine ; 250 à la race porcine, et 58 prix aux lots d'animaux de basse-cour. Les sommes mises à la disposition des jurys des concours, pour être distribuées en prix, s'élevaient à 1,662,000 fr. Le gouvernement avait contribué à cette somme pour 335,000 fr. Parmi les prix distribués figurait aussi un prix nouveau de 5,000 fr., décerné non à tel ou tel produit exposé, mais à l'agriculteur (du département où se tient le concours), dont l'exploitation serait reconnue comme étant la mieux dirigée et présentant les améliorations les plus sérieuses et les plus utiles.

Par d'autres voies encore, le gouvernement — en France, la Providence indispensable — est venu en aide à l'agriculture. On se rappelle qu'en 1860 il avait été alloué 29 millions à l'agriculture sur le reliquat de l'emprunt de guerre de 1859 ; en 1861, sur la proposition de M. le comte de Persigny, l'Empereur a pris sur lui de décider qu'un crédit extraordinaire de 25 millions, à répartir sur sept ans, serait accordé aux chemins vicinaux. Le budget de la vicinalité étant déjà de 89 millions, le bienfait de la « magnani-

mité et de la munificence impériales» — style officiel — n'est peut-être pas aussi immense que le public pourrait le croire après cette touchante effusion lyrique des sentiments de reconnaissance, qui, le jour de l'ouverture des conseils généraux, s'exhalaient au même instant des quatre-vingt-dix-neuf salles départementales où les conseils généraux inauguraient leur session de l'année 1861.

L'Exposé de la situation de l'Empire, présenté au Corps législatif en vertu du décret du 24 novembre 1860, constate que, grâce aux allocations de l'État, 48,000 hectares de dunes en Gascogne sont en train de se transformer en forêts; qu'en Sologne, la culture se transforme ; que la Corse voit mener à bonne fin le desséchement des marais de la côte orientale.

Une mesure qui mérite d'être sérieusement louée a été prise par M. Rouland, ministre de l'instruction publique, en faveur de l'instruction primaire. Il a eu l'heureuse idée de consulter sur ce sujet ceux mêmes qui sont chargés de distribuer l'instruction primaire et qui, par conséquent, devaient connaître mieux que personne ce qui manque à son organisation et à son état actuels. 5,740 mémoires, émanant tous d'instituteurs primaires, ont répondu à l'appel de M. le ministre de l'instruction publique. Sur ce nombre, 1,207 ont été jugés dignes d'intérêt et 172 auraient une incontestable valeur, au dire du jury d'examen ; 10 de ces derniers ont été couronnés et ont obtenu : le premier, un prix de 1,200 fr. ; le second, un prix de 600 fr., et les huit autres, chacun 200 fr. Dix autres mémoires ont été distingués par une mention honorable. Stimuler le zèle de ces pauvres instituteurs primaires, dont la tâche est assurément beaucoup plus importante qu'elle n'est honorée, beaucoup plus épineuse qu'elle n'est avantageuse pour ceux qui l'accomplissent, est certes une des meilleures choses qui puissent être faites dans l'intérêt des campagnes, où l'instruction laisse tant à désirer. Le rapport fait sur ces mémoires par M. de Royer constate entre autres choses curieuses que, bien que le nombre des enfants qui reçoivent le bienfait de l'instruction primaire, se soit élevé, depuis vingt ans, de 3,222,423 à 4,016,220, le nombre de ceux qui en sont encore privés, ne pourrait être évalué à moins de 1,200,000 : c'est beaucoup trop et on serait cependant très-porté à croire ce chiffre fort inférieur à la réalité, si l'on en juge

d'après l'état général de l'instruction en France chez les adultes. Ainsi, les derniers renseignements sur le mouvement de la population, font voir qu'en grande moyenne, environ 40 0/0 des personnes qui se marient sont incapables de signer leur nom au contrat de mariage; dans les campagnes, prises isolément, la proportion de ces « illettrés » — comme les appelle l'euphémisme obligé de la statistique officielle — qu'un langage plus franc pourrait bien taxer de francs ignorants, s'élève jusqu'à 70 et 80 0/0.

C'est encore à combattre cette lèpre de l'ignorance qui, pour les campagnes, n'est pas seulement une plaie morale, mais aussi un grand dommage matériel, que tend une autre mesure prise récemment par M. Rouland; elle porte sur l'institution de bibliothèques communales. Les livres destinés à former ces bibliothèques seront choisis parmi les traités les plus succincts de géographie et d'histoire naturelle, d'agriculture et d'hygiène privée. Il va de soi qu'on n'admettra que les livres pourvus de la fameuse estampille bleue dont certaine commission du ministère de l'intérieur se plaît à orner les livres admis au colportage. Faute de mieux, c'est-à-dire puisque les populations elles-mêmes se préoccupent si peu de développer l'intelligence et d'augmenter le savoir des campagnards, il faut se féliciter de l'impulsion donnée d'en haut; il serait au moins à désirer que les vrais amis des lumières ne prissent effectivement l'intervention officielle que comme une impulsion qui veut être suivie, que comme un commencement qui veut être développé par l'activité privée des citoyens. Un certain parti qui, de sa nature, n'est pas enthousiaste des lumières, mais qui pour cela même aime mieux façonner à sa guise l'éducation et l'institution des petits et des grands enfants, quand elles sont devenues indispensables, s'est ému beaucoup plus que le parti libéral de l'initiative prise par M. Rouland. S'il faut subir cette nouvelle calamité de bibliothèques communales, ce parti, faisant bonne mine au mauvais jeu et sachant profiter de tous les malheurs, fera de ces bibliothèques, par la façon dont il les organisera et les remplira, de nouveaux instruments et de nouveaux foyers de propagande pour ses enseignements et son influence. C'est donc un devoir de plus pour les hommes vraiment libéraux, dans les départements, de prendre la chose sérieusement au cœur et en main. L'inactivité, en face des efforts que nous venons de signaler, cesse

d'être un péché d'omission ; elle devient féconde en résultats positifs très-peu désirables. Et pourtant, dans le camp auquel nous faisons allusion, c'est-à-dire dans les rangs libéraux et démocratiques, on a cru avoir tout fait en battant des mains pendant trois ou quatre jours à l'initiative prise par M. le ministre de l'instruction publique ; on s'est empressé d'accomplir ce devoir, afin d'avoir ensuite les bras plus libres — pour les croiser nonchalamment.

III

INDUSTRIE ET COMMERCE.

L'événement capital de l'année qui finit sera incontestablement, dans le domaine industriel et commercial, l'entière mise en pratique du nouveau régime douanier, inauguré par la lettre de l'Empereur du 5 janvier 1860 ; cette mise en pratique a obtenu son couronnement par la levée de toutes les prohibitions, réalisée depuis le premier octobre dernier. Le temps écoulé depuis cette réforme radicale et, en termes généraux, depuis l'inauguration du nouveau régime économique est trop court encore pour qu'on puisse en juger définitivement les effets. Nous aurons en passant à les consigner pour les principaux articles de notre commerce; les effets sur l'industrie sont naturellement plus lents à se produire et moins faciles à constater. Disons seulement ici, que l'influence du nouveau régime douanier sur nos importations et la perturbation que celles-ci devaient porter dans l'activité industrielle du pays, ont été moins « terribles » que les amis intéressés de l'ancien état de choses, ou les intelligences étroites et par là fanatiques de la routine, ne nous les avaient prédites. La France n'a point été « inondée » de produits anglais et belges ; les armées d'ouvriers qui devaient mourir de faim par suite de l'entrée plus ou moins libre de cotonnades ou de draps étrangers, n'ont point été mises sur le pavé. Si l'on pense que l'introduction du nouveau régime douanier, qui — à l'instar de toute mesure radicale—n'est pas sans avoir ses sérieuses difficultés, s'est effectuée au milieu d'une situation générale bien difficile, politiquement et économiquement, on peut, à juste droit, s'étonner qu'elle n'ait pas produit des perturbations autrement graves ; il est permis de conclure de ces faits négatifs que, dans une situa-

tion meilleure, dans une époque normale, moins affaiblie économiquement et moins inquiétée politiquement, les réformes douanières eussent donné à l'activité industrielle et aux échanges internationaux une impulsion très-vigoureuse et très-féconde.

Pour sainement juger jusqu'à quel point étaient fondées les craintes que les protectionnistes cherchaient à répandre et pour avoir un point de départ certain qui permettra d'apprécier, quand le nouveau régime aura fonctionné durant un certain temps, les changements produits, il importe de se rendre compte de l'état où en sont actuellement les industries particulièrement atteintes par le remaniement du tarif douanier. Cette connaissance exacte était indispensable au gouvernement aussi, afin de pouvoir fixer équitablement, sans préjudicier à aucun intérêt légitime ni même violenter aucune crainte plus ou moins justifiable, les nouveaux droits douaniers, ceux surtout qui devaient entrer dans les traités de commerce conclus avec la France et la Belgique ; à cet effet, le gouvernement avait organisé une vaste enquête, confiée à une commission composée des notabilités administratives et industrielles, les plus autorisées [1]. Dans cette enquête qui a rempli 54 séances, ont été entendus les représentants les plus distingués des principales industries françaises, ainsi que des industriels et des commerçants notables des pays voisins, notamment de l'Angleterre et de la Belgique. Les principaux résultats de ce débat contradictoire sur la situation de nos grandes industries mériteraient d'être rendus accessibles au grand public par un travail d'une étendue moins effrayante que ne l'ont fait les sept in-quarto qui contiennent les comptes rendus sténographiés des séances de la commission d'enquête. En attendant ce volume-résumé auquel le monde économiste et les hommes d'affaires ne pourraient manquer de faire un bon accueil, nous empruntons ci-après à l'enquête quelques notions générales sur la situation, à l'inauguration du nouveau régime, de ces deux grands groupes d'industries que la levée des prohibitions ou l'abaissement des droits protecteurs devaient particulièrement atteindre : l'industrie métallurgique et l'industrie textile. Nous ajoutons à ces observations

[1] La commission était présidée par M. Schneider, vice-président du Corps législatif; M. E. Herbet, ministre plénipotentiaire, remplissait, auprès de la commission d'enquête, les fonctions de commissaire général administratif.

quelques chiffres empruntés aux publications mensuelles de la statistique commerciale et dans lesquels se révèle l'effet des dégrèvements douaniers sur nos importations en articles antérieurement prohibés ou sur-protégés.

INDUSTRIES MÉTALLURGIQUES.

Fers et fontes. — La France produit-elle ses fers et sa fonte plus cher que l'Angleterre? Telle était la question qu'on se posait. En analysant les éléments dont se compose une question aussi complexe, voici ce qu'on trouve : Le minerai est souvent plus riche en Angleterre qu'en France ; mais cet avantage se trouve considérablement réduit par le fait que certains minerais anglais exigent une dépense de combustibles beaucoup plus forte. En Angleterre, le minerai et la houille sont le plus souvent à côté l'un de l'autre, grâce aux gisements de houille qui alternent avec ceux du minerai. En France, très-peu d'établissements jouissent de cet avantage; le plus souvent, le besoin de se rapprocher des localités où le bois et la houille sont à proximité ou du moins d'un accès facile, oblige les usines à se construire loin des gisements des minerais. Le combustible étant aussi beaucoup moins cher en Angleterre, on peut donner à la production une extension, très-difficile à obtenir en France, qui, en diminuant les frais généraux, permet de produire à prix réduit. De son côté, la France a la main-d'œuvre à meilleur marché et un très-grand avenir dans sa fabrication du fer au bois, qui forme le cinquième de notre production. Le développement continu de nos voies de fer et les abaissements de tarif qu'il est dans l'intérêt même des compagnies d'accorder ne peuvent manquer de remédier en partie à ces inconvénients dont souffre l'industrie française. L'influence des nouveaux tarifs qui ont commencé à fonctionner le 1er octobre 1860 s'était traduite l'année dernière en une diminution des entrées, le commerce ayant naturellement, durant les neuf premiers mois, borné ses achats à l'indispensable. Cette influence est, par contre, très-manisfeste, dans le sens ascendant, en 1861, ainsi qu'on peut le voir par les chiffres ci-après qui résument, pour les dix premiers mois, les entrées de la fonte brute :

	1861	1860	1859
	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.
Angleterre.	748,888	108,336	226,091
Belgique.	104,808	53,509	115,406
Autres provenances. . .	34,400	1 ,543	20,340

L'accroissement, on le voit, est fort surtout pour les provenances anglaise et belge, les deux pays avec lesquels nos relations commerciales sont organisées déjà sur le pied des tarifs nouveaux. L'importation des fers en barres, durant le même espace de temps (10 mois), s'est élevé à 52,063 quint. métr., contre 2,974 en 1860 et 11,263 en 1859.

Fer-blanc. — Avant le dernier traité de commerce, le prix élevé que cette industrie était obligée de payer pour la tôle, le combustible et l'étain, n'était pas toujours compensé par la supériorité de ses produits. L'étain ayant été affranchi de tout droit autre que la surtaxe de navigation, tous les avantages paraissent désormais être du côté de notre ferblanterie. L'impulsion qu'elle aura reçue de ce changement n'est probablement pas étrangère à l'accroissement de nos importations en étain : dans les dix premiers mois de l'année, ces importations se sont élevées à 32,411 quintaux métriques, contre 23,460 en 1860 et 26,829 en 1859.

Tréfilerie. — Bien que les tréfileurs anglais aient l'avantage du libre emploi du fer de Suède, et le fer au coke à meilleur marché, la position des fabricants français est meilleure que celle de leurs concurrents anglais, grâce au taux moins élevé des salaires. Aussi le droit d'entrée pour les articles compris dans cette partie du tarif a pu être abaissé de 36 fr. à 7 fr.

Acier. — Au point de vue des procédés de fabrication, les aciers français, de n'importe quelle qualité, n'ont rien à envier aux aciers anglais : c'est ce qui ressort avec évidence des dépositions de l'enquête. Aussi l'importation, dans les dix premiers mois de 1861, ne s'est-elle élevée qu'à 8,109 quintaux métriques, contre 6,274 quin-

taux métriques en 1859 ; elle n'avait été en 1860 que de 2,553 quintaux métriques, sous l'influence des raisons déjà signalées au sujet des fers.

Cuivre. — Cette industrie s'est, en général, montrée moins effrayée que l'industrie du fer, bien que pour les lamineurs leurs concurrents anglais aient, outre le combustible, le minerai indigène et exotique à meilleur marché. La tréfilerie a paru craindre beaucoup plus la concurrence allemande que la concurrence anglaise ou belge ; la chaudronnerie n'a fait ressortir aucune différence sensible à son désavantage. Ces prévisions étaient assez fondées ; bien que le cuivre ait été dégrevé dans des proportions très-considérables, — le cuivre ordinaire de 120 fr. à 15 fr., le cuivre doré ou argenté de 343 et 1,140 à 100 fr. les 100 kilos, — et que le cuivre de première fusion ait été affranchi, il ne paraît pas, d'après les indications sommaires fournies par les tableaux mensuels, que ces industries aient été fortement atteintes par le traité. L'importation anglaise de cuivre de première fusion a même diminué, ainsi qu'on le voit par les chiffres que voici, qui s'appliquent toujours aux dix derniers mois de l'année :

	1861	1860	1859
	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr
Angleterre.	42,350	54,184	48,299
Chili.	25,073	17,964	8,393
Autres provenances. . .	71,382	50,115	41,664
Ensemble..	138,805	122,263	98,356

Bronzes. — Cette industrie, qui est particulièrement parisienne, s'est montrée aussi intelligente que confiante dans ses forces. Comme presque toutes les industries de Paris, elle a repoussé toute protection et hardiment applaudi au traité de commerce, où elle voyait le prélude de mesures appelées à lui ouvrir les marchés européens qui lui sont encore fermés ; elle s'est bornée à réclamer la garantie internationale de la propriété de ses modèles.

Plomb, zinc et étain. — Les industries qui travaillent ces métaux ne se sont guère montrées plus difficiles que l'industrie des bronzes. Le traité avec l'Angleterre avait déjà réduit de beaucoup les droits qui pesaient sur ces trois articles. Sur les réclamations des lamineries de plomb, le gouvernement, par le traité avec la Belgique, a fait disparaître les dernières anomalies d'un tarif hors de toute proportion avec la valeur des produits. L'affranchissement du zinc relèvera probablement aussi nos fonderies de leur infériorité vis-à-vis des produits belges et anglais, infériorité dont l'unique raison d'être se trouvait dans l'énormité de la surtaxe imposée aux minerais crus ou grillés qui arrivaient par navires étrangers. Le tableau du commerce des dix premiers mois fait déjà voir les effets de ce changement sur l'importation de ces trois métaux :

		1861	1860	1859
		quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.
Étaim brut.		32,441	23,466	26,829
Plomb brut.		138,973	131,567	176,663
Zinc.	Pays-Bas.	82,598	»	» »
	Belgique.	146,497	46,076	11,747
	Villes anséatiques.	49,746	39,998	30,216
	Aut. provenances.	43,609	156,971	167,029
	Total du zinc. . .	322,450	243,045	208,992

C'est la Belgique surtout qui a profité des nouveaux tarifs qui n'en sont encore qu'à leur cinquième mois d'existence.

Machines. — Dans leur ensemble, les droits d'entrée sur les machines ont été réduits de deux tiers environ ; la protection maintenue à cette industrie est, cependant, plus considérable que la protection laissée à l'ensemble de nos industries métallurgiques. Cette préférence n'est peut-être pas facile à justifier ; si les constructeurs anglais ont la matière première et le combustible à meilleur marché, ils sont en désavantage vis-à-vis de leurs concurrents français par la cherté plus grande de la main-d'œuvre et les frais

de transport et d'emballage, qui ne sont pas peu considérables pour un article aussi encombrant. Les machines destinées à l'agriculture ont été plus fortement dégrevées que les autres. Quoi qu'il en soit, celles de nos industries qui se servent de machines étrangères ont largement profité de la réduction des droits : l'importation des dix premiers mois s'est élevée en 1861, à 7,282,189 francs, contre 3,753,196 francs en 1860, et 3,137,425 francs en 1859.

INDUSTRIES TEXTILES.

Sur 115 chefs d'industrie que l'administration voulait entendre dans l'enquête, soixante-dix seulement ont paru devant la commission. Ils ont reproduit, quant aux machines, au combustible, aux matières premières, à la multiplicité et au meilleur marché des moyens de transport, ainsi qu'au loyer du capital, les observations qu'avaient fait entendre les représentants des industries métallurgiques. Eux aussi, réclamèrent, surtout, l'abaissement progressif des droits sur la houille et le charbon; il leur a été donné satisfaction sur ce point. D'autres réclamations et plaintes ne manquèrent naturellement pas de se produire. Parmi les filateurs, quelques-uns ont prétendu que la main-d'œuvre serait moins chère en Angleterre qu'en France, et que l'ouvrier filateur anglais serait beaucoup plus habile et plus laborieux que l'ouvrier français. Ces allégations ont été très-vivement contestées par d'autres maîtres filateurs. A ce propos, M. Rouher, ministre des travaux publics, a très-péremptoirement répondu que, si le travail français était réellement moins soigné et moins productif que le travail anglais, il faudrait tout simplement en conclure que le travail français est mal dirigé et exige d'être stimulé, mais aucunement qu'on doive en protéger l'inhabilité et le défaut d'application. M Rouher n'a pas été moins bien inspiré sur la question de contre-maîtres et ouvriers anglais employés dans quelques-unes de nos grandes manufactures; il a fait observer que depuis vingt ans que dure cet emploi, on avait eu tout le temps de former des ouvriers et de se dispenser d'aller recruter son personnel à l'étranger. Les divergences d'opinions n'étaient pas moins fréquentes entre les tisseurs entendus dans l'enquête. Règle générale, quand le tisseur n'était pas filateur, les fils pouvaient et devaient être dégrevés sans le moindre

danger; mais, quand il était filateur en même temps que tisseur, les deux produits devaient être également protégés. Du reste, presque tous les témoignages en faveur de la protection s'accordaient à dire qu'une des causes de la supériorité de l'industrie anglaise était dans la grande extension qui est donnée chez nos voisins d'outre-Manche au tissage mécanique, dont la propagation en France est rendue difficile par le prix élevé des machines. L'abaissement du droit d'entrée qui, nous l'avons vu, a fait doubler, en 1861, l'importation des machines, enlèvera tout prétexte à cette plainte.

Laines. — L'admission en franchise des laines à l'état brut a fait disparaître, pour la matière première de cette industrie, la plus grande partie des avantages qu'avaient les manufacturiers anglais. Les peigneurs, à qui la broche revient à 25-30 pour 0/0 en plus qu'elle ne coûte à Bradford, n'ont cependant réclamé qu'un droit peu élevé. Ils se sont montrés beaucoup moins préoccupés de la concurrence anglaise que des concurrents prussiens et saxons. Les fabricants des draps unis et façonnés, sans crainte pour leurs draps fins, redoutent la concurrence anglaise pour les draps communs, et notamment les étoffes mélangées laine et coton. Les fabricants de mousseline ont déclaré que le succès de leurs produits dans les deux mondes les rassurait complétement. Ils ne se cachaient pas que, pour les articles unis, l'industrie britannique leur ferait une concurrence sérieuse, mais ils se disaient sûrs de leur avantage dans la nouveauté et la fantaisie. L'industrie des châles, tant à Paris que dans le département du Gard, n'a pas montré moins d'énergie. Habitués, ont dit ses représentants, à battre la concurrence anglaise sur les marchés étrangers, nous ne la redoutons pas sur le marché intérieur. Si elle a les combustibles à meilleur marché, en retour elle paye la main-d'œuvre plus cher et n'a pas nos bons dessinateurs. Dans l'industrie des flanelles et mérinos, Reims manifestait de vives craintes pour ses qualités communes, et réclamait le maximum de la protection compatible avec le traité anglo-français; pour ses étoffes fines, une protection plus faible la rassurait pour le moment; mais si, par hasard, les flanelles de Saxe parvenait à s'introduire par voie d'Angleterre, les manufacturiers français, à les en croire, seraient obligés de fermer leurs établissements : à vrai dire, nous n'en croyons rien. La bonneterie de laine, moins effrayée, a cependant demandé une assez forte pro-

tection, motivée sur son infériorité vis-à-vis de l'industrie anglaise qui travaille avec des métiers circulaires à vapeur, tandis que la manufacture française se sert encore de métiers rectilignes. La fabrique des couvertures de laine a également réclamé une protection de 30 pour 0/0, quoique, pour la matière première aussi bien que pour la main-d'œuvre, elle ne se trouve point dans une condition inférieure à celle de l'industrie anglaise. Le même droit protecteur a été réclamé avec plus d'apparence de raison par les fabricants de tapis, où la supériorité de la manufacture anglaise paraît manifeste; toutefois, pour les tapis de luxe, qui empruntent leur valeur moins à la matière première qu'à l'élégance du dessin et au fini du travail, on a bien voulu se contenter d'une protection plus faible. Le tarif annexé au traité avec l'Angleterre avait assuré, à la plupart de ses industries, un droit dit *protecteur* de 15 pour 0/0; le traité avec la Belgique n'a modifié ce tarif que pour les châles qui ont obtenu une protection de 5 pour 0/0, quoiqu'ils n'aient rien demandé.

Coton. — Les représentants de cette industrie n'étaient pas les moins protectionnistes. La filature appuyait notamment ses demandes de protection sur le fait que l'établissement d'une broche coûte 22 francs et son entretien 8 francs de plus qu'en Angleterre. Les représentants de l'industrie anglaise répondirent qu'en Angleterre les profits n'étaient pas si gros qu'on le prétendait et ne dépassaient guère les 10 pour 0/0. En fin de compte, on s'accorda à reconnaître que les numéros fins pouvaient demander une protection plus forte que les gros numéros. Il était bien difficile de concilier les dires et les prétentions des différentes branches de travail qu'englobe la grande industrie cotonnière. La commission d'enquête entendit les fabricants de mousseline de Tarare et des fabricants de tulle du Pas-de-Calais et du Nord se plaindre amèrement des prétentions de la filature française, de l'irrégularité et de l'infériorité de ses produits. Les tisseurs convinrent qu'entre eux et les tisseurs anglais il y avait les mêmes inégalités qu'entre les filateurs des deux pays. Les imprimeurs réclamèrent la libre entrée de tissus étrangers. Les fabricants de velours de coton, de coutils damassés de coton, d'articles à pantalon, qui presque tous, grâce au bon marché de la main-d'œuvre et à la protection, réalisent de beaux bénéfices en travaillant avec des métiers à la main,

n'ont pas caché combien ils étaient peu satisfaits du traité qui allait les obliger, s'ils voulaient lutter contre les concurrents étrangers, à se pourvoir de nouveaux moteurs. Dans plusieurs siéges principaux de cette industrie, la bonneterie de coton en est encore aux métiers à la main pour les ouvrages communs, tandis qu'à Nottingham on emploie des métiers rectilignes rotatifs et de grands métiers circulaires, auxquels la manufacture française devra absolument recourir elle aussi; cependant, pour les ouvrages qu'il faut faire à la main, les produits français conservent leur supériorité. Les velours d'Utrecht et les dentelles de laine sont, en Angleterre, une industrie à l'état d'essai, au berceau pour ainsi dire; ses produits sont beaucoup moins appréciés et recherchés que les produits français; nos industriels n'en ont pas moins réclamé de forts droits protecteurs. La passementerie de laine, beaucoup moins bien partagée, a cependant été infiniment plus modeste dans ses exigences.

Soie. — L'industrie de la soie n'a pas montré la même tendance à exagérer sa faiblesse et la puissance de ses rivaux; elle a déclaré, au contraire, ne redouter aucune concurrence. Dans la crainte qu'un droit fiscal ne fût considéré comme une protection déguisée, elle eût même désiré que le gouvernement laissât entrer librement les soieries étrangères, et répondît ainsi par une réciprocité complète au traitement si libéral de l'Angleterre, qui avait ouvert son vaste marché à tous les produits français. Ces idées, fortement développées dans un très-remarquable mémoire adressée par la chambre du commerce de Lyon au conseil supérieur, portait l'adhésion des principales fabriques de tissus. Les faibles préoccupations de nos fabricants étaient surtout tournées du côté de la Suisse, qui, se refusant à reconnaître les droits des inventeurs brevetés, dérobe impunément les procédés de fabrique, et ajoute à ce bénéfice illicite le double avantage d'une main-d'œuvre moins rétribuée et d'une force hydraulique moins coûteuse. La filature de bourre de soie et de fleuret n'a réclamé d'autre protection que celle d'un droit de nature à combler la différence que constitue à son préjudice le bas prix, en Angleterre, de la houille et des machines. On a également demandé un droit protecteur sur le crêpe façon d'Angleterre, très-imparfaitement imitée par la fabrique de Lyon, ainsi que sur les tulles ornés, jusqu'à ce qu'on ait renouvelé le matériel. Les tulles façonnés qui, si leur outillage n'est pas égal

à celui des manufactures anglaises, possèdent cependant, quant au dessin, au goût et à l'invention, — toutes choses qui font la valeur principale de ces articles, — une supériorité marquée sur l'Angleterre, où ils s'exportent, n'en ont pas moins demandé une protection de 18 pour 0/0. Les rubans de Saint-Étienne, craignant l'introduction par l'Angleterre des rubans suisses, ont réclamé une surélévation du droit protecteur. On a demandé également pour les rubans façonnés des droits assez forts sur les produits allemands d'Eberfeld et de Crefeld, qui seraient de beaucoup supérieurs à leurs similaires français. Par contre, la bonneterie, la passementerie, les dentelles et les blondes, se sont associé à l'esprit libéral de la chambre de commerce de Lyon. Sur les cotons et les soies, de même que sur les autres industries textiles, la protection accordée par les tarifs ne s'est pas en moyenne élevée à plus de 15 pour 0/0.

Nous aurions voulu, comme nous l'avons fait pour les industries métallurgiques, constater l'influence que les abolitions et abaissements des droits d'entrée ont pu exercer sur l'importation de ces articles; malheureusement, les éléments de comparaison manquent, parce que ni pour les fils, ni pour les tissus de coton, le mouvement des importations n'a été précédemment relevé par périodes fractionnaires de l'année. Les chiffres absolus des dix premiers mois de 1861 ne nous apprennent donc pas grand'chose pour la question spéciale qui nous occupe. Constatons cependant qu'en tissus de coton cotés au poids, on a importé 5,184 quintaux métriques (commerce spécial) et en tissus cotés à la valeur, pour 1,487,140 francs. L'importation des fils de lin et de chanvre (13,440 gram.) est restée au même chiffre qu'en 1860; par contre, l'importation des tissus de lin et de chanvre a monté de 850 quint. métriques, en 1860, à 1,925 quint. métriques en 1861.

Si les amis de la liberté commerciale et du progrès économique ont applaudi franchement et sincèrement à l'esprit de la lettre impériale du 5 janvier 1860 et à la courageuse bonne foi avec laquelle en a été poursuivie la réalisation durant le cours de l'année 1861, il s'en faut bien que toutes les mesures accessoires aient mérité et trouvé le même assentiment unanime; il y en a qui se ressentent trop fortement de l'ancien esprit protecteur et interventioniste. De cette nature est notamment le crédit extraordinaire

de 40 millions que l'État employait en prêts à la grande industrie pour l'aider notamment à renouveler son matériel. Une commission spéciale a été chargée de recueillir et d'examiner les demandes des industriels et leurs titres à participer dans ce bénéfice. Elle a reçu 600 demandes montant à 80 millions de francs environ. Elle en a admis 159 pour la somme de 38,420,000 francs, à répartir comme suit :

Fers et métaux.	27	demandes	pour	9,110,000 fr.
Fils et tissus..	88	—	—	15,060,000
Transports.	5	—	—	1,200,000
Mines.	11	—	—	3,800,000
Machines..	18	—	—	1,417.000
Sucres.	6	—	—	3,520,000
Industries diverses.. . .	4	—	—	4,583,000

Parmi les autres mesures, qui se concilient mieux avec l'esprit du 5 janvier 1860, on aime à citer l'abolition du pacte colonial qui obligeait les colonies : à apporter tous leurs produits en France, à en tirer exclusivement les objets nécessaires à leurs besoins, et à se servir pour tout cela uniquement du pavillon français; dorénavant elles seront soumises au même régime d'importation et d'exportation que la France. Nous citerons encore les décrets qui ont dégrevé les sucres et cafés de leur surtaxe, supprimé les droits sur les graines oléagineuses importées par navire français, et considérablement réduit les droits sur les graines importées sous pavillon étranger.

L'effet de ces différentes mesures ne pourra être apprécié dans sa juste étendue que lorsqu'on possédera des renseignements complets et détaillés sur le mouvement de nos échanges internationaux en 1861; pour le moment, ces détails manquent encore pour l'année précédente. Le gros in-quarto de la statistique commerciale qui paraît d'habitude vers le commencement de l'automne et rend compte du mouvement des échanges dans l'année précédente, n'a pas encore paru au moment où nous écrivons. Nous ne possédons donc, pour 1860, que les chiffres globaux, récemment publiés par le *Moniteur*, des *valeurs* de l'importation et de l'exportation. La valeur totale de l'importation a été en 1860 de 2,392,400,000 fr. contre 2,148,200,000 fr. en 1859, soit un accroissement de

244 millions. Les exportations se sont élevées à 2,949,400,000 fr., contre 2,755,600,000 fr. en 1859, soit une augmentation de 193,800,000 fr. Ces chiffres s'appliquent au *commerce général* qui embrasse également les produits étrangers importés et réexportés, le transit en un mot. Quant au *commerce spécial* qui, aux entrées, ne comprend que les articles destinés à la consommation du pays, et aux sorties que les produits nationaux vendus à l'étranger, voici comment s'en établissent les valeurs *officielles* :

	IMPORTATIONS.	EXPORTATIONS.
En 1860.	1,585,000,000f	2,092,000,000f
En 1859.	1,404,000,000	1,998,000,000
Excédant sur 1859.	181,000,000	94,000,000

Quant à l'ensemble du mouvement commercial dans les dix premiers mois de 1861, il est impossible de l'exprimer en chiffres, vu que l'estimation des valeurs ne se fait qu'après la clôture de l'exercice, par une commission spécialement instituée à cet effet. Les seules données générales qu'on puisse avoir sur ce sujet portent sur le revenu douanier et sur le mouvement de navigation. Comme on s'y attend bien, le revenu douanier a dû considérablement souffrir, cette année-ci plus encore que l'année précédente, sous les fortes réductions du tarif; si la théorie enseigne, si la pratique d'autres pays confirme que les réductions des droits, par l'impulsion qu'elles impriment à l'activité économique et à la consommation, finissent toujours par accroître les ressources du fisc, il est évident que cette compensation exige du temps; elle sera d'autant plus difficile et plus lente, quand l'époque de transition se trouve être, par d'autres raisons déjà, difficile et embarrassée... Le revenu douanier des dix premiers mois de 1861 a été de 100,627,000 fr., contre 110,873,000 fr. en 1860 et 157,680,000 fr. en 1859. Le revenu de l'année entière sera donc probablement d'environ 120 millions, ce qui le constituera en déficit de 70 millions sur l'exercice 1859. Quant au mouvement de navigation, les entrées des dix premiers mois ont été en 1861, de 25,754 navires jau-

geant 4,125,532 tonnes, contre 20,573 navires de 3,314,573 tonnes en 1860, soit une augmentation de 5,181 navires et de 810,959 tonnes; par contre, les sorties qui, en 1860, avaient embrassé 15,517 navires jaugeant 2,398,439 tonnes, ne sont en 1861 que de 14,462 navires jaugeant 2,214,716 tonnes, soit une diminution de 1,055 navires et de 183,723 tonnes.

IV

ÉTAT ET MOUVEMENT FINANCIERS.

La nature et l'étendue de ce travail nous interdisent également de toucher à cette grosse question financière qui en ce moment préoccupe si fortement les esprits en France. Signalons seulement en deux mots le grand événement financier de l'année : c'est le sénatus-consulte présenté au Sénat, le 2 décembre 1861, en exécution de la promesse contenue dans la lettre adressée par l'Empereur, le 12 novembre dernier, à son ministre d'État, et qui eut pour corollaire le retour de M. Achille Fould au département des finances. La réforme que ce revirement doit réaliser et qui est la continuation des réformes introduites dans la constitution de l'empire par le décret du 24 novembre 1860, vise surtout à donner au Corps législatif un pouvoir plus sérieux de contrôle sur la gestion financière du gouvernement; à cet effet, le Corps législatif aura un vote plus spécialisé sur les propositions budgétaires du gouvernement, et il aura seul le pouvoir de voter les crédits supplémentaires et extraordinaires qui pourraient être nécessités par des besoins imprévus, révélés dans le courant de l'exercice. Voici le texte du projet du sénatus-consulte qui doit donner force de loi à cette double réforme annoncée dans la lettre impériale du 12 mars 1861 :

« Art. 1er. Le budget des dépenses est présenté au Corps législatif avec ses divisions en sections, chapitres et articles. Le budget de chaque ministère est voté par sections, conformément à la nomenclature annexée au présent sénatus-consulte. La répartition par chapitres, des crédits accordés pour chaque ministère, est réglée par décret de l'Empereur, rendu en conseil d'État. Des décrets spéciaux, rendus dans la même forme, peuvent autoriser des virements d'un chapitre à un autre dans le budget de chaque ministère.

« Art. 2. Il ne pourra être accordé de crédits supplémentaires ou de crédits extraordinaires qu'en vertu d'une loi. Il n'est point dérogé aux disposi-

tions des lois existantes en ce qui concerne les dépenses d'exercices clos restant à payer, les dépenses des départements, des communes et des services locaux, et les fonds de concours pour dépenses d'intérêt public.

« Art. 3. Les articles 4 et 12 du sénatus-consulte du 25 décembre 1852 sont modifiés en ce qu'ils ont de contraire au présent sénatus-consulte. »

La réforme annoncée dans l'article 2, pourra être aussitôt appliquée et exercera donc son effet sur la gestion financière de l'exercice 1862. Par contre, l'article 1er ne pourra trouver son application qu'au budget pour 1863, que le Corps législatif votera dans sa prochaine session. Le budget de 1862 a déjà été voté dans la session précédente. En voici les chiffres de dépenses :

Ministère d'État	18,042,600 fr.
— de la justice	31,584,016
— des affaires étrangères	11,333,950
— de l'intérieur	170,810,118
— des finances	983,819,901
— de la guerre [1]	392,568,533
— de la marine et des colonies	149,537,819
— de l'instruction publique et des cultes	73,032,548
— de l'agriculture, etc., etc.	139,439,546
Ensemble	1,969,769,031 fr.

Comparativement au budget qui avait été voté pour 1861, il y a accroissement de 129,647,173 fr.; la diminution que les ressources doivent subir par suite des réductions opérées sur les *droits douaniers*, devra être compensée surtout par l'augmentation de 25 p. 0/0 dont a été frappé le tabac et par la surélévation des droits sur les boissons.

Avant que les réformes du 12 novembre aient captivé, d'une façon presque exclusive, l'attention du monde financier, ce dernier s'était beaucoup préoccupé de la situation et des actes de la Banque de France. Deux faits notamment marqueront dans l'histoire de ce grand établissement de crédit en 1861. Le premier est relatif au rapport des deux métaux précieux qui de fait font office de monnaie en France; le second se rattache à l'exportation de numéraire qui a été nécessitée par les forts achats de blés, suite de la mauvaise

[1] Y compris le gouvernement général de l'Algérie.

récolte dont nous avons déjà eu à parler. Quant au premier fait, on sait que l'invasion forte et continue de l'or en Europe, par suite de la découverte des mines d'or californiennes et australiennes, avait depuis dix ans fait pénétrer de plus en plus ce métal précieux dans la circulation française, où il tendait à se substituer presque entièrement à l'argent qui émigrait; la monnaie d'argent s'exportait en partie pour l'Inde, la Chine et d'autres contrées lointaines, partie pour les pays de l'Europe où l'argent seul était monnaie légale. L'abondance de l'or et la raréfaction de l'argent avaient eu pour résultat de faire obtenir une prime à ce dernier, c'est-à-dire de lui donner vis-à-vis de l'or, sur le marché libre, un prix supérieur au rapport légal : celui-ci assigne à l'or une valeur 15 1/2 fois aussi forte qu'à l'argent. Par suite de diverses circonstances à la suite desquelles diminuaient les arrivages d'or et les sorties de l'argent, la Banque de France, qui depuis plusieurs années n'avait payé qu'en or, se résigna de remettre en circulation son encaisse-argent et de seconder ainsi puissamment le courant qui tendait à rétablir la circulation simultanée en France des deux métaux précieux. Depuis que cette mesure a été prise par la Banque (4 juillet 1861), les pièces d'or et d'argent circulent à nouveau en France sur le pied de l'égalité. La réapparition de la monnaie d'argent dans la circulation n'en a aucunement accru l'exportation; elle est, au contraire, descendue de 10,742,561 hectogrammes en 1860 (dix premiers mois), à 10,475,807 hectogr. en 1861; en même temps, l'importation a monté de 5,919,616 hectogr. en 1860, à 6,839,651 hectogr. en 1861. D'autre part, l'exportation de l'or a monté de 460,100 hectogr. à 805,027 hectogr., en même temps que l'importation est descendue, de 1,241,333 hectogr. à 731,471 hectogr. Les faits relatifs au va-et-vient de l'or aussi bien que ceux qui se rapportent au va-et-vient de l'argent paraîtraient donc de nature à favoriser le revirement et à rétablir de plus en plus l'ancienne simultanéité de la circulation des deux métaux précieux.

Ce changement était cependant sans influence sur l'ensemble du stock monétaire et particulièrement sur l'encaisse de la Banque de France, qui en contient le réservoir le mieux garni et le plus accessible. Aussi, lorsque la mauvaise récolte provoqua la nécessité de faire promptement à l'étranger de forts achats de blé qui, en majeure partie, doivent être soldés en numéraire, la Banque de

France, pour protéger son encaisse, crut devoir surélever son taux d'escompte; elle le porta, le 26 septembre, à 5 1/2 p. 0/0 et le 1er octobre à 6 p. 0/0; deux mois après, elle put revenir au taux de 5 p. 0/0. Le tableau ci-après résume le mouvement des opérations de la Banque (en millions de francs) d'après les bilans qu'elle publie le deuxième vendredi de chaque mois :

NOMS.	EN CAISSE.	PORTEFEUILLE.	BILLETS EN CIRCULATION.	COMPTES COURANTS	
				DU TRÉSOR.	PARTICULIERS
Décemb. 1860.	432	593	747	134	190
Janvier 1861..	349	608	785	82	207
Février. . . .	380	472	735	61	196
Mars..	396	444	728	79	166
Avril.	378	454	730	80	144
Mai.	393	518	744	21	155
Juin..	412	497	713	124	187
Juillet.	382	543	731	121	191
Août..	395	548	758	136	180
Septembre. . .	586	507	757	120	144
Octobre. . . .	304	580	766	57	145
Novemb. 1861.	285	607	728	56	157

Le *drainage* de l'argent a été, on le voit, plus faible déjà en novembre qu'il ne l'avait été au mois d'octobre. Le mérite en revient assurément moins aux mesures de précaution prises par la Banque — nous entendons la surélévation de l'escompte — qu'à l'amélioration dans la situation générale du marché; surtout à ce fait que la majeure partie des opérations nécessitées par le déficit de la récolte est effectuée déjà, et que la panique que ce déficit avait provoquée est à peu près dissipée. A moins que les complications anglo-américaines n'amènent une nouvelle aggravation dans les affaires de l'Europe, il n'est pas à croire que nous ayons à redouter pour l'hiver 1861-62, soit une crise alimentaire à l'instar de celle de 1847, soit une crise économique de l'étendue de celle que nous eûmes à subir dans l'hiver de 1857-58.

Nous avons signalé déjà la part qui revient à la liberté du commerce des céréales dans la promptitude avec laquelle on a pu, cette année, combler une partie du déficit et combattre ainsi les progrès de la hausse des blés, qui menaçait de devenir si péniblement lourde pour les classes ouvrières surtout; le pain, qui, il y a deux mois, avait atteint à Paris son prix maximum de 50 cent. par kilogr., se débite à 46 cent. depuis le 1er décembre. Il est juste de le reconnaître aussi : la meilleure intelligence économique des classes laborieuses elles-mêmes a grandement contribué à diminuer l'intensité et la durée de la panique que les mauvaises récoltes produisaient à d'autres époques, quand les clameurs insensées et parfois les violences même des classes laborieuses aggravaient grandement les maux causés par l'inclémence des saisons; aujourd'hui, grâce au progrès des saines notions économiques, l'ouvrier sait que le libre jeu du commerce des céréales est seul capable d'amoindrir les effets des crises alimentaires. Mais il faut aussi rapporter sa part du mérite au progrès des voies de communication qui facilitent et accélèrent, dans une si large mesure, les opérations commerciales tendantes à transporter les blés, des pays où il est en abondance, à ceux qui en manquent. Nous n'avons pas besoin de dire que le grand rôle dans ces transports est rempli par les chemins de fer. C'est par quelques renseignements sommaires sur le trafic des voies ferrées, dont l'importance économique et sociale va journellement croissant, que nous terminerons notre résumé des principaux faits économiques de l'année 1861. Les renseignements officiels sur le trafic de nos chemins de fer vont jusqu'au 30 septembre 1861; voici quels ont été la longueur exploitée et le résultat de l'exploitation, comparés à ceux de 1860 :

VOIES FERRÉES.	MOYENNE EXPLOITÉE.	RECETTES EN 1861	RECETTES EN 1860	ACCROISSEMENT EN 1861.
Ancien réseau.				
	k.	fr.	fr.	fr.
Nord.	956	45,980,301	24,305,481	1,674,840
Est.	959	36,482,273	33,777,197	2,705,076
Ouest.	900	37,287,878	35,344,004	1,943,874
Orléans.	1,476	52,567,816	48,740,537	3,827,279
Paris-Méditerr.. .	1,411	86,531,102	72,374,024	14,157,078
Lyon-Genève. . .	237	5,492,384	5,040,051	452,333
Midi..	796	20,931,650	16,724,010	4,207,640
V.-Emm. (s. Rh.).	103	1,029,628	1,053,518	(1)
Ceinture..	17	1,450,417	1,239 063	211,354
Graissessac. . . .	51	408,849	214,695	194,154
Bességes à Alais. .	32	1,048,443	780,251	268,192
Anzin à Somain. .	19	329,241	281,635	47,606
Chauny-St-Gobain.	15	16,647	1,480	15,167
Carmaux à Albi. .	15	196,655	145,756	57,899
Totaux.	6,987	289,753,284	260,021,702	29,755,472
Nouveau réseau.				
Nord.	41	248,809	37,928	210,881
Est.	741	14,894,091	13,150,982	1,743,109
Ardennes.	165	2,894,600	2,642,673	251,927
Ouest.	312	3,335,597	3,166,815	168,782
Orléans.	474	4,381,297	3,228,117	1,153,180
Paris-Méditerr.. .	536	15,297,647	13,173,327	2,124,320
Dauphiné.	133	2,241,530	1,983,386	258,144
Midi..	99	664,709	557,605	107,104
Totaux.	2,506	43,958,280	37,940,833	6,017,447
Les deux réseaux réunis.				
Ancien réseau. . .	6,987	289,753,284	260,021,702	29,731,582
Nouveau réseau. .	2,506	43,958,280	37,940,833	6 017,447
Ensemble. . . .	9,49 3	333,711,564	297,962,535	35,749,029

[1] Diminution de 23,890.

La longueur totale exploitée au 30 septembre 1861 était de 9,891 kilom., contre 9,384 kilom. au 30 septembre 1860; l'accroissement durant l'année a donc été de 507 kilom., dont 496 pour le nouveau réseau. La progression de l'étendue exploitée étant moins forte que celle des recettes brutes, on devine que la recette kilométrique a dû s'accroître assez considérablement. Comparativement aux neuf premiers mois de 1860, elle a monté : sur l'ancien réseau, de 37,322 fr. à 41,470 fr.; sur le nouveau réseau, de 16,840 fr. à 17,541 fr.; sur les deux réseaux réunis, de 32,317 à 35,153 fr., soit donc un accroissement moyen de 2,836 fr. ou de 8.88 pour 100 par kilomètre.

J. E. Horn.

Paris, 3 décembre 1861.

AUTEURS

CITÉS DANS CET OUVRAGE

A

Alexandre (Jean). 48
Amos. 307
Ampère. 30, 34
Appert. 111
Arago. 22, 65, 139, 145
Aristote. 542
Arnaudon. 182
Arrault. 169

B

Babinet. 24, 56
Bacon (Roger). 165
Bain. 42
Balart. 86, 263
Barber (John). 171
Barral. 92, 290
Barthe. 162
Baudoin. 61
Barrat. 316
Bayle. 61
Beaumont (Élie de). 139
Beauvais. 49
Becquerel (E). . . . 71, 92, 183, 196
Bergon. 42
Berthelot. 71, 92, 116, 246
Bertsch. 187
Berthier. 239
Berthollet. 232
Berzelius. 77, 119
Bessemer. 226
Bétancourt. 32
Bethel. 301
Biot. 65
Block. 299, 313
Bonelli. 51
Bouis. 86, 242
Boulay. 113
Boussingault. . . 120, 141, 257, 289
Boutron. 132
Bradley. 28
Bréguet. 47
Brett (De). 54
Brewster (Sir David). 9
Brown (Samuel). 172
Bruder. 310
Brun. 249
Brustlein. 287
Blithe (Welter). 297

C

Cadet. 15
Cahours. 15, 86, 101
Cagniart de Latour. 117, 217
Caillaux. 156
Caithcaim (Lord). 308
Cannizzaro. 86

Cardan. 26, 355
Caron. 234
Carré. 260
Carlisle. 34
Caselli (Giovanni). 52
Cavendish. 290
Cesalpin. 355
Chacornac. 25
Chappe (Claude). 33
Chaptal. 49
Charles. 187
Chayla (Du). 162
Chevreul. . . 75, 112, 209, 239, 349
Clarke. 36
Clément. 113
Cloez. 291
Clouet. 232
Cochon. 49
Cooke. 44
Columelle. 276, 280
Conneau. 55

D

Dagron. 188
Daubrée. 264
Davy (Sir Humphry). 18, 91, 194, 281
Debray (H.). 255, 297
Degousée. 147
Delambre. 49
Delarive. 159
Delessert. 187
Descartes. 320
Desmazières. 117
Despretz. 237
Deville (H. Sainte-Claire). 16, 90, 236, 247
Diderot. 179
Diesbach. 42
Dombasle (Mathieu de). . . . 205, 297
Duboscq. 188, 195
Dubrunfaut. 115
Dufrenoy. 242
Dulong. 101
Dumas. . . 75, 86, 91, 113, 238, 291
Duverrier. 165
Dygbée. 289

E

Ebelmen. 264
Ericson. 174

F

Fabre. 152
Faraday. 57, 91, 159, 239
Favé. 210
Faye. 26
Fontenelle. 29
Fourcroy. 349
Foucault. 183
Forster. 24
Fowler. 305
Frankland. 15
Franklin. 30
Fraunhofer. 8
Frémy. 152, 217, 234
Fresnel. 24
Froment. 41

G

Galilée. 27, 317, 351
Galvani. 34
Garnier. 41
Gaugain. 57
Gauss. 35
Gavarret. 58
Gay-Lussac. 75, 95, 110, 217
Gélis. 152
Gerhardt. 76
Gersparch. 49
Gier (Louis de). 255
Gilbert. 279
Granham (Otto). 259
Grandeau. 16, 159
Graffton. 305
Grégory. 24
Grunier. 242
Guignet. 291
Guillemin. 57
Guyton de Morveau. 231

H

Halkett. 301
Harvey. 167
Hautefeuille (Jean de). 167
Heine (Henri). 87

Henri. 172
Herschell. 23
Heuchan. 289
Heuley. 56
Hind. 23
Hitghon. 53
Hipp. 41
Hœfer. 349
Hoffmann. 101, 128
Houz. 181
Houzeau. 290
Howard. 305
Hubault. 166
Hughes. 41
Hugo (Comte A.). 203
Humboldt (Al. de). 141
Huntsmann (Benjamin). 227
Huyghens. 276
Huxtable. 287

I

Instoch (Mac). 242

J

Jacquart. 51
Jacobi. 103
Jamin. 92
Joly. 122
Jullien. 240

K

Képler. 21
Kind. 149
Kirschhoff. 5
Kuhlmann. 289
Kuneman. 152

L

Langlois. 239
Lapeyre. 49
Laplace (Marquis de). 27, 317
Lassaigne. 291
Lavoisier. . 19, 32, 76, 110, 136, 217
Laurent. 85, 147
Lawes. 279
Lebon (Philippe). 171
Leblanc (Nicolas). 263
Ledru. 31
Leibnitz. 320
Lemercier. 191
Lenoir. 168
Lesher (James). 301
Leplay. 231
Lesage (Georges-Louis). 31
Lewy. 282
Liais. 21
Libavius. 355
Liebig (Baron J. de). 75, 119, 217, 237
Limet. 246, 281, 289
Lissajous. 92
Livingstone. 162
Listz. 44
Lomond. 32
Lucade. 291

M

Mariotte. 102, 110
Margrerin. 164
Marinoni. 174
Masson. 10
Maury (Lieutenant). 56
Martinol. 177
Marchand. 235
Margueritte. 242
Maximovitch. 162
Mayow. 348
Mazure. 275
Mége-Mouriès. 202
Melloni. 67
Meunier (Victor). 44
Miani. 162
Michelet. 56
Millon. 291
Mitscherlich. 98, 119
Moigno (L'abbé). 56
Monge. 231
Montgomery. 54
Morin (Général). 239
Morse. 37, 50
Morphyre. 52
Mulot. 166
Musset (Charles). 122

N

Newton. 7, 23, 68
Nicklès. 234
Nicholson. 34
Niepce de Saint-Victor. 172
Nobili.. 35
Noggerath.. 154

O

Œrstedt. 30, 34
Œyenhausen.. 163
Ogirien. 275

P

Pahic. 195
Papin. 169
Pasteur. 65, 92, 105
Paramel.. 139
Parkes. 277
Payen.. . . . . 130, 210
Péligot. 66, 75, 86, 158
Pelouze. 132
Pell (Williams). 37
Pelherick. 162
Persoz. 130
Pouget-Maisonneuve. 43
Pouchet. 122
Poitevin (Al.). 190
Poinsot. 317
Priestley. 281
Prudent.. 44

R

Regnault (V.). 110, 261
Reiser.. 33
Rey (Jean).. . . . . 110, 348
Rives. 37
Rivaz. 172
Roche.. 26
Rogers. 297
Romaine-Robert. 301
Roscoe. 13
Rousseau. 260
Rouelle le jeune. 75
Rumkhorf. 62, 174

S

Saint-Cricq-Cazeaux. 242
Salva. 56
Saunderson. 234
Savery. 171
Saussure (Th. de). 280
Scheele. 75
Schelling. 35
Sénèque.. 7
Sennebier. 281
Serrin.. 195
Serres (Olivier de). 267, 277
Siebold. 162
Siemens.. 41
Smith.. 277
Sœmmering. 30
Sourdeval (De).. 242
Stahl. 107, 337
Stephenson. 54
Stodard. 239
Street-Robert. 171
Straite. 195
Sweigger. 35
Sudre.. 226

T

Thackeray. 177
Thénard (Baron). 95, 111, 217
Thénard (Baron Paul).. . . . . 279, 290
Thompson.. 279
Thunberg. 162
Toricelli.. 331
Tresca. 172, 176, 197
Troost.. 96
Turpin. 118, 217
Tycho.. 24

V

Vallemont (L'abbé de). 289
Vandermonde. 231

Van Helmont. 111
Varron. 280
Veilch.. 164
Verdié.. 230
Vichura. 162
Ville (Georges). 289
Volta. 31

W

Walker. 54
Walferdin. 139, 156
Warentrapp. 75
Watt. 171
Way. 199, 279
Weber.. 35
Wheatstone. 40
Will. 75
Wilème (François). 184
Wöhler. 94
Wollaston. 248
Wood. 268
Woodward.. 187
Wurtz. 86, 92

Y

Young (Arthur). 32

Z

Zulichem (De). 196

TABLE DES MATIÈRES

Avertissement. 1

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

Analyse chimique de l'atmosphère du soleil. — Deux nouveaux métaux terrestres. — MM. Kirschhoff et Bunsen, par M. P. P. Dehérain. . . 5

La Comète de juin 1861, par M. W. de Fonvielle. 29

PHYSIQUE

Télégraphie électrique, par M. E. Menu de Saint-Mesmin. 30

I. Jupiter électricien.— Franklin sur les rives du Schuylkell.— Un Écossais anonyme. — Le télégraphe de Lesage. — Comus et Diderot. — La prise de Condé. — Le télégraphe à étincelles. — Travaux de Sœmmering. — Expérience d'Œrstedt. — Le Lilliputien d'Ampère. — Appareil du baron de Schilling. — Souvenir classique. 30

II. Alphabet phonique de M. Steinheil. — M. Morse à bord du *Sully*.— L'hélice magnétisante.— Principe du télégraphe américain.— Manipulateur, récepteur et relais du télégraphe de Morse. — Suppression du relais. — Rouleau compositeur de M. Paul Garnier. — Système de M. Hughes. — Le bleu de Prusse de M. Bain. — Les horloges électriques et le don d'ubiquité. 36

III. Un mot sur le *Journal of popular education*. — Le télégraphe anglais. — Télégraphe à cadran de Wheatstone. — Appareil portatif de Bréguet. — Télégraphe à clavier de M. Froment. — Télégraphe de l'an X de la République. — Le secret du citoyen Jean Alexandre. . . 44

IV. Nouvelle scientifique. — Le télégraphe autographique du chevalier Bonelli. — Essais de l'abbé G. Caselli. — Les fils aériens. — Les conducteurs souterrains. — Le canon de Douvres. — Le câble transatlantique.— Opinion du docteur Conneau. — Hypothèse de M. Babinet.— M. Gavarret et le lieutenant Maury. — Conclusion. 50

La Phosphorescence, travaux de M. Ed. Becquerel, par M. Saint-Edme. 69

CHIMIE

La Synthèse en chimie organique. — M. Berthelot, par M. P. P. Dehérain. 71

La Société chimique de Paris.— Les séances publiques.— M. H. Sainte-Claire Deville, par P. P. Dehérain. 90

PHYSIOLOGIE

Les Fermentations. — Travaux récents de M. Pasteur, par M. P. P. Dehérain. 105

I. Fermentations alcooliques. — Ses produits. 107

II. Nature du ferment alcoolique. — Explication du phénomène de la fermentation. 110

III. Fermentations diverses.— Travaux de M. Berthelot.— Conclusion. 129

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

MÉCANIQUE, ART DE L'INGÉNIEUR

Le Puits de Passy, par M. W. de Fonvielle. 138

Les Moteurs a gaz, par M. E. Menu de Saint-Mesmin. 164

I. La poudre à canon.— L'olivier de Minerve.— Le chapelain de Saint-Aignan d'Orléans.— Première machine à gaz. — Extrait d'une lettre de l'abbé de Hautefeuille à madame la duchesse de Bouillon. — Le protégé de Colbert.— Papin et ses successeurs.— Projets de Philippe Lebon. — Patentes et brevets. — Le nœud gordien. 164

II. La machine Lenoir.— Examen des prophéties dont elle a été l'objet. — La conservation de nos houillères. — Suppression des foyers fumivores.— Application des moteurs à gaz aux bateaux et aux navires aériens. — Utopie. — La locomobile de campagne. — Expériences du Conservatoire des Arts et Métiers. — Le problème de la distribution des petites forces à domicile. — Conclusion 173

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Revue photographique, par M. E. Saint-Edme. 180

L'Exposition de photographie.— Condensation de la lumière.— Épreuves colorées. — M. Niepce de Saint-Victor. — Photosculpture, M. François Wilhème. — Épreuves gigantesques et microscopiques. — La photographie en voyage. — Photolithographie. — Photographie au charbon. — M. A. Poitevin. 181

La Lumière électrique, par M. E. Saint-Edme. 194
La lumière électrique à l'Opéra. — Éclairage des villes. — Emploi de la lumière électrique à bord des bâtiments. — Dans les phares. — Conclusion. 194

CHIMIE APPLIQUÉE

Travaux de M. Mége-Mouriès sur la panification, par M. P. P. Dehérain. 202
L'Acier. — Recherches de M. Saunderson, de M. Ed. Frémy et de M. H. Caron, par M. P. P. Dehérain. 218
I. Description d'une forge. — Hauts fournaux. — Fonte. — Mazéage. — Puddlage. — Fer. — Laminoirs. 219
II. Fabrication industrielle de l'acier. 228
III. Nouveau procédé d'affinage de M. Bessemer. 226
IV. Des emplois de l'acier. — Acier mixte. 229
V. Opinions anciennes sur la nature de l'acier.— Remarques pratiques. — La propension aciéreuse. — M. le Play. 231
VI. L'acier est-il un fer carbo-azoté? — M. Saunderson, M. Frémy, M. Caron. 234
Le Platine. — Traitement des minerais de platine par voie sèche. — Fabrication économique de l'oxygène. — MM. H. Sainte-Claire Deville et H. Debray, par M. P. P. Dehérain. 247
Production artificielle du froid. — Appareil de M. Carré, par M. P. P. Dehérain. 260

AGRICULTURE

La Terre arable, par M. P. P. Dehérain. 264
I. Formation de la terre arable. — Désagrégation et décomposition des roches cristallines sous l'influence des eaux, sous celle de l'acide carbonique. — Ebelmen. — M. Daubrée. — Sable. — Argile — Humus 264
II. Propriétés physiques de la terre arable.— Terres légères. — Terres fortes. — Drainage. 272
III. Propriétés chimiques de la terre arable. — L'humus. — Produits de sa décomposition.— Théorie minérale de M. J. de Liebig. — Discussion. — MM. Lawes et Gilbert. — M. Boussingault. — Propriétés absorbantes des argiles. — MM. Huxtable, Thompson et Way. — M. P. Thénard. — Conclusion. 279
Les Charrues a vapeur, à propos de l'Exposition de Leeds, par M. W. de Fonvielle. 294

TROISIÈME PARTIE

HISTOIRE DES SCIENCES

MÉCANIQUE

La Translation et la Rotation. — Galilée et Poinsot, par M. E. Lamé. 317

I. Du Principe de l'Inertie. — Impuissance de la matière à transformer ses mouvements. — Une force est un transformateur de mouvement. — Des mouvements uniformes ou non transformés. 319

II. Galilée et l'Inertie de translation. — Définition du mouvement uniforme de translation.— Mesure des forces à l'état statique et dynamique.— Masse et vitesse.— Idée de l'accélération; elle seule définit entièrement la force mécanique. — Parallélogramme des forces. . 321

III. Poinsot et l'Inertie de rotation. — Définitions préliminaires : cônes, centres de gravité, ellipsoïdes.— Rotation de la sphère : équation fondamentale des rotations. — Moyennes distances ou bras d'inertie. — Rotation de l'ellipsoïde de révolution. — Rotation d'un corps de figure irrégulière. — Parallélogramme des rotations. . . 328

IV. Descartes, Leibnitz, Poinsot, Aristote. — La quantité de mouvement de Descartes. — La force vive de Leibnitz. — Poinsot les réconcilie : la force vive est la vraie quantité de mouvement. — Le mouvement naturel et le mouvement violent d'Aristote. — Justesse des idées d'Aristote, rajeunies par la science moderne. 342

CHIMIE

Deux Chimistes oubliés, par M. P. P. Dehérain. 346

QUATRIÈME PARTIE

Économie politique et sociale, par M. J. E. Horn. 370

Population, 370. — Agriculture, 374. — Industrie et Commerce, 382. — Industries métallurgiques : Fers et Fontes, 384; Fer-blanc, 385; Tréfilerie, 385; Acier, 385; Cuivre, 386; Bronzes, 386; Plomb, Zinc et Étain, 387; Machines, 387. — Industries textiles, 388; Laines, 389; Coton, 390; Soie, 391. — État et mouvement financiers, 395.

Auteurs cités dans cet ouvrage. 403

Paris. — Imprimerie Simon Raçon et comp., rue d'Erfurth, 1.

4

XXIX
f 17